



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

KIMMO RISIKKO
SYSTEEMISEN RISKIN MITTAAMINEN

Kandidaatintyö

TIIVISTELMÄ

KIMMO RISIKKO: Systeemisen riskin mittaaminen

Tampereen teknillinen yliopisto

Kandidaatintyö, 29 sivua, 2 liitesivua

Toukokuu 2018

Teknis-taloudellinen kandidaatin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Tuotantotalous

Tarkastaja: Tuomas Korhonen

Avainsanat: systeeminen riski, systeemisen riskin mittaaminen, tartunta pankki-järjestelmässä, CoVaR, MES, SRISK, CES, Systeemisyyys

Systeemisellä riskillä tarkoitetaan useiden pankkien yhtäaikaista konkurssesja. Pankit ha-jauttavat omaa riskiään ja toisaalta pyrkivät parempiin tuottoihin muun muassa lainoitta-malla toisia pankkeja tai solmimalla muita takauksopimuksia. Tämä asettaa pankit riip-puvaisiksi toistensa vakavaraisuudesta ja maksukyvyystä. Tässä kandidaatintutkielmassa pyrittiin selvittämään, miten systeemistä riskiä voidaan mitata, miten systeemisesti kriit-tisiä instituutioita voidaan identifioida ja miten valittuja systeemisen riskin mittaussmene-telmiä on sovellettu empiriseen aineistoon.

Tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Aineistona käytettiin alan laadukkaista jul-kaisuja painottaen 2010-luvulla ilmestyneitä artikkeleita. Tutkielmassa esittelin systee-misen riskin mittaussmenetelmiä, jotka ovat saaneet paljon tieteellistä huomiota tai olivat kiinnostavia esimerkiksi erilaisen konseptuaalisen lähestymistavan vuoksi. Tutkielmassa esiteltiin systeemisen riskin mittaussmenetelmät *CoVaR*, johdannaisperusteinen mene-telmä, *MES/SES*, *SRISK*, *CES* ja *systeemisyyys*.

Tulososassa havainnoidaan, minkälaisia tuloksia valitut menetelmät ovat tuottaneet käy-tännön tiedoilla testattuna. Useimpien mittareiden kohdalla testaus on tehty finanssikrii-sin aikaisilla tiedoilla. Tutkimuksessa osoittautui, että erityisesti *SRISK* ja *systeemisyyys* pystyivät ennen finanssikriisiä ennakoimaan järjestelmätasolla systeemisen riskitaso-n ko-hoamista. *SRISKin* ja *systeemisyyden* lisäksi *CES* pystyi identifioimaan systeemisesti merkittävät instituutiot luotettavalla tasolla viimeisimmässä systeemisessä kriisissä. Kaikki valitut menetelmät havaittiin vaikuttaneen alan tieteen kehittymiseen.

ABSTRACT

KIMMO RISIKKO: Measuring Systemic Risk

Tampere University of Technology

Bachelor's thesis, 29 pages, 2 Appendix pages

May 2018

Bachelor's Degree Programme in Industrial Engineering and Management

Major: Industrial Engineering and Management

Examiner: Tuomas Korhonen

Keywords: systemic risk, measuring systemic risk, contagion in financial networks, CoVaR, MES, SRISK, Systemicness

Systemic risk refers to large and simultaneous defaults of banks. By issuing bonds and other contracts with each other, banks decrease their own risk and, on the other hand, try to increase profits. A single bank is thus dependent on the financial condition of other banks. This thesis examined different methods of measuring systemic risk and identifying systemically important institutions. In addition, I researched how chosen methods of measuring systemic risk have been used in empirical studies.

The research was conducted as a literature review. The material was collected from high-quality scientific journals with special attention paid to publications from the previous decade. Six different methods of measuring systemic risk are introduced in this thesis. The methods were selected by evaluating scientific attention and their conceptual interest. The methods include *CoVaR*, *a contingent claim method*, *MES/SES*, *SRISK*, *CES* and *systemicness*.

This study examined results of using the chosen methods in empirical studies. For most of the methods, backtesting had been conducted using data from the latest financial crisis, which took place during 2007–2009. I found out that *SRISK*, *CES* and *systemicness* proved to be successful in identifying the systemically critical institutions in the latest financial crisis. On the aggregate level, *SRISK* and *systemicness* also provided early warning signals of the risk before the crises. All the chosen methods have affected the development on this field of science.

ALKUSANAT

Systeemisen riskin tutkimus on noussut ajankohtaiseksi aiheeksi viimeisimmän finanssi-kriisin jälkeen. Työn tutkimukseen minua innoitti sen moniulotteisuus ja kriittisyys nykyaikaisen talousjärjestelmän toimivuuden kannalta. Aiheen valinta oli itsessään melko nopea prosessi, mutta aiheen tutkimukseen perehtyminen osoittautui haastavaksi tehtäväksi. Systeemisen riskin kiinnostavuuden ohella sen yhteiskunnallinen merkittävyys sekä halu itsensä haastamiseen motivoivat hyvän tuloksen saavuttamiseen. Kandidaatin-tutkielma oli monivaiheinen prosessi, joka opetti paljon tieteellisen tutkimuksen teosta, tehokkaasta relevantin tiedon etsimisestä sekä oman työskentelyn jaksottamisesta.

Haluan antaa kiitokseni läheisilleni ja opiskelukavereilleni osuvista ja arvokkaista neuvoista sekä kommentteista työn aikana. Lisäksi haluan kiittää työn tarkastajaa Tuomas Korhosta sekä professori Juho Kanniaista hyvistä sisällöllisistä ja rakenteellisista ohjeista sekä arvokkaasta näkökulmasta työn eri vaiheissa.

Tampereella 13.5.2018

Kimmo Risikko

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Työn tavoitteet.....	1
1.2	Tutkimusmenetelmä	2
1.3	Tutkielman rakenne.....	2
2.	SYSTEEMINEN RISKI	3
2.1	Systeeminen riski ja tartunta ilmiönä	3
2.2	Pankin omaisuusrakenne	4
2.3	Systeemisen riskin realisoituminen.....	6
3.	SYSTEEMISEN RISKIN MITTAUSTAPOJA.....	7
3.1	Lähtökohta systeemisen riskin mittaamiselle.....	7
3.2	CoVaR.....	8
3.3	Johdannaisperusteinen menetelmä	9
3.4	Odotettu alijäämä, MES/SES	10
3.5	SRISK.....	11
3.6	CES.....	12
3.7	Systeemisyys	14
4.	SYSTEEMISEN RISKIN MITTAREIDEN KÄYTTÖ KÄYTÄNNÖN ESTIMOINNISSA	15
4.1	CoVaR.....	15
4.2	Johdannaisperusteinen menetelmä	16
4.3	Odotettu alijäämä, MES/SES	17
4.4	SRISK.....	18
4.5	CES.....	20
4.6	Systeemisyys	21
4.7	Havaintojen analysointi.....	22
5.	PÄÄTELMÄT	25
	LÄHTEET	27

LIITE A: TAULUKKO MENETELMIEN OMINAISUUKSISTA EMPIIRISISSÄ TUTKIMUKSISA

LYHENTEET JA MERKINNÄT

CES	odotetun alijäämän osatekijä
CoVaR	ehdollinen riskinalainen arvo
CS	pääomavaje
ES	odotettu alijäämä
LRMES	pitkän ajan odotettu marginaalinen alijäämä
MES	marginaalinen odotettu alijäämä
OTC	julkisen kaupankäynnin ulkopuolinen kauppapaikka
SES	systeeminen odotettu alijäämä
VaR	riskinalainen arvo

1. JOHDANTO

1.1 Työn tavoitteet

Pankkiverkoston systeeminen riski on ajankohtainen aihe, jonka tutkimukseen innoittaa sen vaikutusten moniulotteisuus kansantalouksien, yksityisen sektorin ja kuluttajien toimintaympäristöön. Tämän vuoksi keskusteluun on noussut julkisen sääntelyn ja yhteistyön tarve minimoida mahdollisen kriisin kustannuksia (Haldane & May 2011). Pankki- ja rahoitusjärjestelmän toimivuus on nykyaikaisen talousjärjestelmän peruspilari (Huang et al. 2009), joten systeemisen riskin tutkimuksesta ovat kiinnostuneita pankkien ja julkisen vallan lisäksi myös muut talouden toimijat. On todettu, että pankkikriisi voi aiheuttaa tuotannon tippumisen jopa 15–20 % bruttokansantuotteella mitattuna (Hoggarth et al. 2002). Systeemisestä riskistä oltiin kiinnostuneita ja sitä pidettiin uhkana jo ennen vuosien 2007–2009 finanssikriisiä (Freixas et al. 2000). Systeemisen riskin tutkimus sai uutta vauhtia finanssikriisin jälkeen, jolloin pankkiverkoston sisäinen kriisi levisi myös reaali-talouteen ennennäkemättömällä tavalla (Billio et al. 2012).

Systeemisen riskin mittaamisen ongelmana on, kuinka luoda malli, joka on yleishyödyllinen, luotettava ja toteutettavissa oleva saatavilla tiedoilla. Julkisen vallan tavoitteena on pienentää mahdollisen riskin realisoitumisen kustannuksia ja huolehtien ettei riski leviä muuhun talouteen. (Acharya et al. 2017) Perinteisesti riskiä on arvioitu tiedoista, joita on saatu tarkastelemalla pankkien taseita, minkä perusteella on tehty arvioita pankin vaka-varaisuudesta ja riskillisyydestä (Huang et al. 2009).

Kandidaatin työssä pyritään vastaamaan tutkimuskysymykseen: mitä valitut systeemisen riskin suuruuden arviointimenetelmät ottavat huomioon ja miten niitä on alan tutkimuksessa sovellettu käytäntöön. Tarkastelun kohteeksi on valittu menetelmiä, jotka ovat kirjallisuudessa saaneet huomiota, ovat verrattain uusia tai eroavat konseptuaalisen lähestymistapansa vuoksi. Työssä kiinnitetään huomiota myös mittareiden käyttämiin lähtötietoihin ja niiden ominaisuuksiin.

Teoriaosassa käsitellään systeemistä riskiä käsitteenä ja valittuja systeemisen riskin mittaustapoja. Systeemisen riskin muodostumista lähestytään varojen ja vastuiden näkökulmasta. Teoriaosan keskiössä ei ole johdannaisten takaussopimuksista kohoavan riskin tutkiminen. Työssä ei pureuduta eri tapojen mallintamisen yksityiskohtiin, jotka koskevat esimerkiksi ekonometrisia menetelmävalintoja. Tulososassa esitellään, miten valittuja systeemisen riskin mittareita on alan tutkimuksessa käytetty empiirisen tiedon kanssa. Tavoitteena on havainnoida eri mittareiden heikkouksia ja vahvuuksia eri tilanteisiin ja siten arvioida niiden luotettavuutta kokonaisriskin arviointiin.

1.2 Tutkimusmenetelmä

Työn tutkimusmenetelmänä on käytetty kirjallisuuskatsausta. Kirjallisuuskatsauksessa kuvaillaan aiheen tärkeimpiä konsepteja ja tehdään selvä rajausta, jonka sisällä valittua ilmiötä tarkastellaan. Kirjallisuuskatsauksessa esitetään väittämiä, joita tuetaan teoreettisilla selityksillä, kirjallisuudesta löydettyillä empiirisillä havainnoilla sekä käytännön esimerkeillä. Lisäksi kirjallisuuskatsaus esittää myös johtopäätöksiä tutkijoiden ja alan vaikuttajien käyttöön. (Webster & Watson 2002)

Korkealaatuinen kirjallisuuskatsaus keskittyy konsepteihin eikä käytä lähdeaineistonaan vain tietyn kapean julkaisualan tai maantieteellisen rajauksen lähteitä (Webster & Watson 2002). Työssä tiedonhakuun käytettiin tieteellisiin artikkeleihin tarkoitettuja hakukoneita, kuten Google Scholaria sekä Tampereen teknillisen yliopiston Andor-palvelua. Tiedonhakuja suoritettiin käyttämällä hakusanoja, kuten ”systemic risk”, ”measuring systemic risk” ja ”contagion in financial networks” sekä tarkempia hakusanoja systeemisen riskin mittareiden mukaan. Kirjallisuuskatsauksen aineistoa koostaessa, on suositeltavaa lähteä liikkeelle alalla vaikuttavien vahvan kontribuution julkaisuista. Lisäksi on suositeltavaa käyttää menetelmää, jossa tarkastellaan näiden paljon huomiota saaneiden artikkeleiden lähdeaineistoa sekä myöhempiä viittauksia kyseisiin artikkeleihin. (Webster & Watson 2002)

Aineisto kasataan etsimällä tutkimuksia, jotka ovat saavuttaneet merkittävää huomiota tiedeyhteisössä. Tätä mitataan esimerkiksi viittausten määrällä. Lähdekritiikistä huolehditaan lähtökohtaisesti varmistamalla artikkelin julkaiseman lehden luokitus Julkaisufoorumi-palvelun avulla. Artikkelit, jotka saavat tässä tutkimuksessa paljon painotusta, pyrin ottamaan Julkaisufoorumin korkean luokituksen julkaisuista. Joissain tapauksissa työssä on myös viitattu muihin lähteisiin, mutta tällöin lähdettä on käytetty useissa tieteellisissä julkaisuissa. Laadukkaiksi osoittautuneiden tutkimusten lähdeaineistoa tarkastellaan, jotta pystytään havainnoimaan tekijöitä, jotka vaikuttavat eri systeemisen riskin mittaus-tapojen ominaisuuksiin. Työhön valitut systeemisen riskin mittausmenetelmät ovat valikoituneet hakukonehauilla edellä mainituilla hakusanoilla. Tutkimukseen on myös valittu menetelmiä, jotka ovat esiintyneet toisissa tutkimuksissa vertailukohtina.

1.3 Tutkielman rakenne

Työssä määritellään ensin peruskäsitteitä ja -konsepteja. Johdannon jälkeen toisessa luvussa kuvataan systeemistä riskiä ilmiönä ja selvitetään systeemisen riskin leviämismekanismeja. Kolmannessa osassa käsitellään teoriaa systeemisen riskin mittaamisesta yleisesti ja esitellään valitut mittausmenetelmät. Neljännessä luvussa esitellään tuloksia siitä, miten valittuja systeemisen riskin mittareita on käsitelty empiirisen tiedon avulla. Viimeisessä luvussa pohditaan saatuja tuloksia sekä tehdään yhteenveto tutkimuksesta.

2. SYSTEEMINEN RISKI

2.1 Systeeminen riski ja tartunta ilmiönä

Systeemisellä riskillä tarkoitetaan monien finanssi- ja rahoituslaitosten yhtäaikaista konkurssia (Huang et al. 2009; Battiston et al. 2012; Gravelle & Li 2013). Finanssi-instituution synonyyminä tässä tutkielmassa yleisnimitystä pankki. Tämä on vakiintunut käytäntö myös useissa alan tutkimuksissa. Allen et al (2012) kuvaavat systeemisen riskin perinteistä määritelmää tilanteeksi, jossa useat pankit ajautuvat konkurssiin kaikkia koskevan shokin tai tartunnan (engl. financial contagion) seurauksena. Systeeminen riski käsitteenä eroaa yksittäisen pankin riskistä. Haldane ja May (2011) toteavat, että vuonna 2007 alkunsa saanut finanssikriisi paljasti, miten yhdelle pankille näennäisesti pienen riskin finanssi-instrumentit muodostivat yhdessä merkittävän riskin koko pankkijärjestelmälle. On todettu, että systeemistä riskin merkittävyyttä aliarvioitiin todella voimakkaasti ennen finanssikriisiä (Bartram et al. 2007).

Finanssikriisiin vaikutti moninaiset tekijät, mutta pankkien keskinäinen verkottuneisuus on kirjallisuudessa vain vähän esiin tuotu näkökulma (Glasserman & Young 2016). Pankkiverkosto muodostuu, kun pankit lainoittavat toinen toisiaan tai muilla keinoin jakavat riskiä toistensa kanssa. On arvioitu, että kaksi kolmasosaa viime vuosikymmeninä tapahtuneesta pankkien taseiden merkittävästä kasvusta johtuu juuri pankkien välisistä sopimuksista, eikä rahoitusaktiviteetista pankkijärjestelmän ulkopuolisille tahoille (Haldane & May 2011). Pankkijärjestelmän ulkopuolisia tahoja ovat esimerkiksi kotitaloudet ja yritykset. Perinteisestä lainanannosta poikkeavat sopimukset, kuten johdannaiset ja suojaukset, ovat monimutkaistaneet pankkien taseita tehden niitten haavoittuvuuden analysoinnista hankalampaa ja siten luonut epävarmuutta rahoitusjärjestelmän vakauteen (Glasserman & Young 2016). Johdannaisten lisääntyminen on auttanut pankkeja hajauttamaan riskiä mutta kasvattanut taseiden limittäisyyttä (Allen et al. 2012).

Systeemisen riskin tutkimuksissa merkittävää huomioita on saanut Allenin ja Galen (2000) käyttämä perusasetelma, jossa pankkijärjestelmä kokee likviditeettishokin. Tilanne, jossa yksittäisen pankin ongelmat suoriutua velvoitteistaan johtaen pankin lopulta konkurssiin, on niin ikään yleisesti kirjallisuudessa käytetty skenaario, josta systeeminen shokki voi saada alkunsa. Ilmiötä, jossa konkurssi tai maksuvaikeudet leviävät pankkiverkostossa, kutsutaan tartunnaksi. Tartunta voi levitä joko likviditeettishokkina, lainojen arvon laskuna tai reaalityn vaikutuksina. Likviditeettishokissa pankki joutuu yllättäen vetämään pois talletuksiaan muista pankeista, joka johtaa edelleen toisten pankkien tarpeeseen vetää omia talletuksiaan pois muualta. Pankin ollessa maksukyvytön, se ei kykene maksamaan lainojaan täysimääräisesti muille pankeille. Tämä aiheuttaa niissä ta-

loudellista stressiä ja herättää markkinoilla epävarmuutta laajemmin pankkien maksukyvyistä. (Battiston et al. 2012) Myös globaali reaalitalouden shokki voi laukaista systeemisen kriisin (Acharya et al. 2017).

Pankit luovat keskinäisiä riippuvuussuhteita, sillä se auttaa niitä hajauttamaan riskiään luoden samalla kanavan tartunnan leviämiseen (Allen & Gale 2000). Pankkiverkostojen tutkimuksessa voidaan havaita kaksi suuntausta. Positiivisia puolia painottava suuntaus tutkii kannustimia, jotka motivoivat finanssi-instituutioita luomaan keskinäisiä riippuvuuksia. Näitä kannustimia ovat edellä mainitun riskin hajauttamisen lisäksi investointimahdollisuuksien lisääntyminen, likvidin rahan tuottavampi ja tehokkaampi hallinta sekä mahdolliset provisiot erikoistumista vaativissa tuotteissa. Toinen haara tutkii, miten pankkiverkosto toimii väylänä shokkien leviämiseen. Huomion keskiössä on tällöin pankkisysteemin luoma shokkien kerrannaisvaikutus, jolloin yksittäiseen toimijaan saattaa kohdistua suhteellisesti voimakas negatiivinen shokki. (Glasserman & Young 2016) Kerrannaisvaikutuksessa shokki leviää pankkien välillä ja pahimmillaan shokki kumuloituu ja voimistuu systeemissä negatiivisen vaikutuksen levitessä laajalle. Pienikin shokki saattaa levittyään muodostaa laajempaa hermoilua pankkiverkostossa, millä voi olla hankalasti ennustettavia seurauksia.

Mitä enemmän pankit ovat keskenään verkottuneet, sitä enemmän pankkien taseet alkavat muistuttamaan toisiaan. Tämä johtaa tilanteeseen, jossa taseissa omaisuuseriä, jotka riippuvat samoista tekijöistä. Taseiden yhteneväisyys aiheuttaa pankkien vakaudessa positiivisen korrelaation. (Allen et al. 2012) Näin ollen yksittäisen pankin jouduttua konkurssin vaaraan, on suuri todennäköisyys, että muutkin pankit ovat lähellä maksukyvyttömyyttä. Etenkin kriisitilanteessa edellä mainittu ilmiö on huomattava, sillä negatiivinen shokki voimistuu, kun markkinoilla on vallalla negatiivinen trendi. (Battiston et al. 2012)

Pankkiverkoston vaikutus systeemiseen riskiin riippuu tavasta, jolla verkosto ja sen luomat tartuntaväylät on rakentuneet. On mahdollista, että yksittäisen pankin konkurssi voi aiheuttaa konkurssin kaikissa pankeissa, joihin se on linkittynyt. Mitä hajautetumpi on toisaalta yksittäisen pankin riippuvuus, sitä pienemmän riskin se kohdistaa ympäröiviin toimijoihin. Synnyttääkseen systeemisen riskin uhan pankin ei tarvitse joutua konkurssiin. Pankkien ongelmat voivat näkyä esimerkiksi korkotasojen nousuna. (Battiston et al. 2012) Korkotason nousu on intuitiivinen reaktio markkinoilta, jotka epäilevät pankkijärjestelmän maksukykyä. Kohonneen riskin vuoksi sijoittajat vaativat suurempaa preemiota kasvaneesta riskistä.

2.2 Pankin omaisuus rakenne

Yksittäinen rahoituslaitos toimii ottamalla vastaan talletuksia ja välittämällä saamaansa rahoitusta eteenpäin lainoina. Nämä talletukset ja lainat voivat olla pankkien välisiä tai pankkiverkoston ulkopuolisia sopimuksia (Glasserman & Young 2016). Kuvassa 1 on esitelty pankin tase kaaviomuotoisena. Pankin varat (engl. *assets*) muodostavat taseen

vastattavaa-puolen. Pankin vastuut (engl. *liabilities*) muodostavat yhdessä pankin pääoman (enlg. *net worth*) kanssa vastattavaa-puolen.

Vastaavaa	Vastattavaa
Ulkopuoliset varat	Pääoma
	Ulkopuoliset vastuut
Pankkien väliset varat	Pankkien väliset vastuut

Kuva 1. Yksinkertaistettu havainnekuva pankin taseesta (mukaillen Haldane & May 2011; Glasserman & Young 2016)

Pankin ulkopuoliset varat voivat olla esimerkiksi asuntolainoja tai kaupallisia velkakirjoja (Glasserman & Young 2016). Pankkien väliset varat ovat toisille pankeille myönnettyjä luottoja. Glasserman ja Young (2016) luokittelevat altistumiset erilaisten johdannaispositioiden takaamisessa osaksi pankkien välisiä varoja. Pankin vastuut voidaan jakaa ulkopuoliin ja pankkien välisiin vastuisiin. Ulkopuoliset vastuut ovat tyypillisimmillään kuluttajien talletuksia (Haldane & May 2011). Pankkien väliset vastuut ovat yksittäisen pankin pankkijärjestelmälle liikkeellelaskemia velkakirjoja (Glasserman & Young 2016). Pankin vastuut ovat toisin sanoen pankkiin tullutta rahaa, joita vastaan pankki on luovuttanut velkakirjan. Pääoma on pankin omistajien asettamaa pääomaa, joka voidaan esittää erotuksena pankin varoista ja vastuista. Tämän erotuksen pysyessä positiivisena pankki on toimintakykyinen. Mikäli pankin pääoma tippuu nolleen tai negatiiviseksi, ajautuu pankki maksukyvyttömäksi. (Haldane & May 2011)

Pankin varojen ja vastuiden tila ei ole stabiili, sillä pankin omaisuuserien markkina-arvot muuttuvat ajassa riippuen esimerkiksi vastapuolien maksukyvystä. Varojen likviditeetti on erilainen pankkiverkoston sisäisillä ja ulkoisilla lainasopimuksilla. Ulkoisia varallisuksia, kuten asuntolainoja, voidaan pitää heikkolikviditeettisenä varallisuutena (Gai & Kapadia 2010). Systeemisen riskin mittaamisen kannalta ideaalitilanteessa pankin varoille ja vastuille on markkinoilla tehokas hinnanmuodostus (Li & Perez-Saiz 2018). Näin ei kuitenkaan käytännössä ole. Pankin tase-erien arvostusten muutosten takia, pelkkä pankin oman pääoman positiivisuus ei tee pankin tilanteesta rauhallista, sillä esimerkiksi varojen markkina-arvojen laskiessa, saattaa edellisenä hetkenä vakaalta näyttänyt pankki ajautua tilaan, jossa sen pääoma on uhattuna (Li & Perez-Saiz 2018). Tartunnan leviäminen tapahtuu usein siten, että ulkoisista syistä johtuen pankin varoihin kohdistuu negatiivinen shokki. Tämä alentaa puolestaan markkinoiden luottamusta pankin maksukykyisyyteen, jolloin pankkien vastuiden arvot saattavat alentua. Pankin vastattavaa-puolelle kohdistuva negatiivinen shokki voi koskea niin pankkienvälisiä varoja, kuin pankkijärjestelmän ulkopuolisia varoja. Tämän heijastuessa pankin sekä ulkoisiin että sisäisiin vas-

tuisiin on negatiivisella shokilla vaikutusta myös muihin pankkeihin. Näin siksi, että toisen pankin pankkienvälinen vastuu on toisen pankin pankkienvälinen varallisuus. Toisin sanoen esimerkiksi kahden pankin välinen velkakirja on lainanantajalla varoissa ja lainanottajalla vastuissa. (Glasserman & Young 2016)

2.3 Systeemisen riskin realisoituminen

Kuten edellä on todettu, systeemisen riskin tutkimus on vauhdittunut finanssikriisin seurauksena, joten tutkielmassa on syytä tuoda esiin joitain tutkimuksen kannalta relevantteja tapahtumia. Suuren yhdysvaltalaisen vakuutusyhtiön AIG:n vakavat maksuvaikeudet vuonna 2008 on lähihistorian paras esimerkki systeemisen riskin skenaariosta (Glasserman & Young 2016). AIG oli laskenut liikkeelle tuotteita, joilla se sitoutui takaamaan vastapuolen tappioita, mikäli kohde-etuudet, esimerkiksi asuntolainasopimukset, alkaisivat tuottamaan tappiota. Kohdemarkkinan heikennyttyä merkittävästi, AIG:lle lankesi maksettavaksi summia, joista se ei kyennyt suoriutumaan. Näiden tapahtumien vuoksi julkisin varoin perustettiin rahasto, joka mahdollisti AIG:n suoriutumaan maksuistaan. (Safa et al. 2013)

AIG oli kooltaan merkittävän suuri ja hyvin verkottunut. Sillä oli useita vastapuolia velkakirja- ja johdannaisopimuksissa. AIG ajautui suuriin maksuvaikeuksiin, sillä sen omaisuuserien arvojen heikentymistä ei kyetty havainnoimaan tarpeeksi tehokkaasti. Suuri osa ongelmallisista omaisuuseristä oli kaupankäynnin kohteena OTC-markkinoilla (engl. *Over-The-Counter*), jossa hinnanmuodostus ei ole tehokasta ja läpinäkyvyys puutteellista. AIG:n ajauduttua merkittäviin maksuvaikeuksiin julkishallinto teki johtopäätöksen, jonka mukaan AIG on liian iso kaatuakseen (englanniksi vakiintunut termi *too big to fail*, *TBTF*) ja AIG:n konkurssiin päästäminen olisi aiheuttanut konkurssreja sen vastapuolissa, joihin kuului muun muassa kuluttajapankkeja. Näin ollen valtion suorittamaa AIG:n pelastuspakettia (engl. *bailout*) pidettiin ainoana mahdollisena vaihtoehtona siitä huolimatta, että AIG ei ollut itse suojannut omia positioitaan sopivilla hedge-sijoituksillaan tai riittävillä käteisreserveillä. (Financial Crisis Inquiry Commission 2011) Hedge-sijoituksilla sijoittaja voi suojata portfoliotaan tekemällä vastakkainen sopimus kolmannen osapuolen kanssa. Näin riskit kumoavat toisensa ja altistuminen kohde-etuuden muutoksille on neutraali. AIG:n tapaus osoitti, että negatiivinen shokki voi levitä verkostossa ilman varsinaista konkurssia (Glasserman & Young 2016).

Vaikka Lehman Brothersin konkurssi lienee yksi tunnetuimmista tapahtumista finanssikriisin aikana, sen seuraukset liittyivät enemmän rahamarkkinasijoitusten poisvetämiseen ja yleiseen varautumiseen rahoitusmarkkinan epävakautta vastaan kuin laajoihin konkurssiaaltoihin (Glasserman & Young 2016). Lehman Brothersin kaatuminen ja AIG:n pelastuspaketti osoittivat, että pankkiverkosto mahdollistaa negatiivisten shokkien leviämisen ja voimistumisen verkoston sisällä (Gai & Kapadia 2010).

3. SYSTEEMISEN RISKIN MITTAUSTAPOJA

3.1 Lähtökohta systeemisen riskin mittaamiselle

Systeemisen riskin mittaaminen ei ole yksiselitteistä, eikä siihen ole kehitetty selvää ratkaisua tai kaavaa (Acharya et al. 2017). Ei myöskään ole olemassa selvää rajaa, milloin yksittäisen pankin riskit muodostuvat systeemisiksi (Lehar 2005). Systeemistä riskiä mitataan usein markkinasääntelijän näkökulmasta, sillä systeemisen riskin tutkimus keskittyy riskin ehkäisemiseen. Julkisella toimijalla, eli markkinasääntelijällä, on keinoja ohjata finanssi-instituutioita toimimaan tavoilla, jotka pienentävät systeemistä riskiä. Hyvän systeemisen riskin mittarin tulee pystyä havainnoimaan riskin muodostumisvaihe, koska ainekset systeemiselle riskille luodaan usein vakaina aikoina, ja systeeminen riski realisoituu usein jonkun kriisin seurauksena (Adrian & Brunnermeier 2016).

Markkinasääntelyllä on pitkä perinne yksittäisen pankin sääntelyssä ja tarkastelun rajaamisessa yksittäisen pankin tasolle (Lehar 2005). Osaksi tästä johtuen, systeemisen riskin suuruuden arviointi on keskittynyt yksittäisen pankin riskillisyyden mittareihin koko pankkijärjestelmän arvioinnin sijaan (Acharya et al. 2017). On olemassa toimijoita, jotka suuren kokonsa tai suuren verkottuneisuutensa vuoksi ovat itsessään systeemisesti kriittisiä (Adrian & Brunnermeier 2016). Erityisesti Battiston et al (2012) kiinnittävät huomiota siihen, miten suuren koon sijaan täytyisi kiinnittää huomiota suureen verkottuneisuuteen ja huomioida siitä aiheutuvaa riskiä. Myös pienemmät pankit, jotka ovat tiiviisti verkottuneita voivat olla systeemisesti kriittisiä yhdessä (Adrian & Brunnermeier 2016).

Perinteisesti systeemistä riskiä on mitattu huonojen lainojen suhteellisella määrällä, tuotoilla ja kannattavuudella sekä pankin käteisvarannoilla. Nämä tiedot on saatu pankin tuloslaskelmasta ja taseesta, jotka tyypillisesti julkaistaan neljännesvuosittain. Tästä aiheutuu ongelmia, sillä tilanteet markkinoilla muuttuvat nopeasti, eikä neljännesvuosittain päivittyvä tieto ole ajantasaista. (Huang et al. 2009) Pankin tase on lähtökohtaisesti pankin itsensä raportoima, ja siksi sitä on syytä tarkastella kriittisesti. Problematiikkaa pankin omasta raportoinnista ovat käsitelleet muun muassa Begley et al. (2017), joiden mukaan pankit vähättelevät omaa riskinottoa erityisesti heikkoina aikoina. Kerätessä tietoa systeemisen riskin mittaamiseen valvojan on tasapainoteltava läpinäkyvyyden ja yksityisyyden välillä (Bisias et al. 2012). Koska pankkien välistä verkottuneisuutta on hankala määrittää sopivan datan puutteessa, on alettu käyttämään markkinatuottoihin perustuvaa menetelmää (Castro & Ferrari 2014). Markkinatiedon käyttämisessä on lukuisia etuja. Markkinoilla tapahtuu tehokas hinnanmuodostus tyypillisimmillään osakkeille ja muille omaisuuserille. Tätä voidaan pitää hyvänä informaationlähteenä systeemiseen riskiin. Markkinoilla hinta muodostuu riippumattomasti ja se päivittyy markkinoiden tehokkuudesta riippuen parhaimmillaan reaaliaikaisesti. Nämä hinnat peilaavat tulevaisuuden näkymiä, sillä sijoittajat markkinoilla arvioivat kaupankäynnissä osakkeen tai muun omaisuuserän

arvoa tulevaisuudessa. Käyttämällä markkinatietoa saadaan eteenpäin katsovaa tietoa taustatietojen kertoessa lähinnä menneisyydestä. (Huang et al. 2009) Systeemisen riskin mittarin tulee katsoa eteenpäin, jotta saadaan relevanttia tietoa riskin kehittymisestä (Adrian & Brunnermeier 2016).

3.2 CoVaR

Riskinalainen arvo (engl. Value-at-Risk), VaR , on yleisin yksittäistä pankkia koskeva riskillisyyden mittaustapa, joka kuvaa pankin riskiä sen ollessa eristettynä muusta ympäristöstä (Adrian & Brunnermeier 2016). VaR on luotu sidosryhmille käytännölliseksi riskin mittariksi, joka on helposti ymmärrettävä (Jorion 2000). Muotoilu $q\%-VaR^i$ kertoo maksimiarvon pankin i tappiosta luottamustasolla q (Adrian & Brunnermeier 2016). VaR koostuu paitsi luottamustasosta, myös aikahorisontista. Käyttötarkoituksesta riippuen ne voi valita joko vapaasti tai rajata tiukemmiksi, kunhan ne ovat vakioita. (Jorion 2000) Koska VaR on yksittäistä pankkia käsittelevä mittari, ei se sovellu kuvaamaan systeemistä riskiä (Acharya et al. 2017).

Adrian ja Brunnermeier (2016) kehittivät systeemisen riskin mittarin käyttäen VaR -menetelmää. Heidän luomansa systeemisen riskin mittari $\Delta CoVaR$ kuvaa, miten yksittäinen pankki vaikuttaa koko systeemin stabiiliuteen. Etuliite ”Co” viittaa riippuvuuteen (engl. *conditional*). Yksittäisen pankin i $CoVaR$ kertoo, mikä on koko finanssijärjestelmän riskinalainen arvo VaR , kun pankki i on tietyssä taloudellisessa tilassa. Pelkkä $CoVaR$ ei yksinään kerro tarpeeksi, vaan kiinnostavaa on tutkia, mikä on sen muutos, kun yksittäinen pankki i kriisiytyy. Selvittämällä muutos kriisitilan ja mediaanitilan $CoVaR$ -arvojen välillä saadaan $\Delta CoVaR$ mittaamaan sitä osaa systeemisestä riskistä, joka muuttuu yhdessä tietyn toimijan kriisiytymisen kanssa. (Adrian & Brunnermeier 2016)

$\Delta CoVaR$ on tilastollinen muuttuja, joka on muodostettu Adrian ja Brunnermeierin (2016) tutkimuksessa keräämällä julkisesti noteerattujen yhtiöiden osakemarkkinatietoa ja tekemällä siitä ekonometrinen regressio (tarkemmin sanottuna kvanttiiliregressio). $\Delta CoVaR$ perustuu tilastollisen jakauman ohueen loppuhäntään, riippuen annetusta luottamustasosta (Adrian & Brunnermeier 2016). Luottamustason ollessa esimerkiksi 99 %, tutkii $\Delta CoVaR$ tuota jakauman huonointa 1 % häntää. Tutkimuksessa (2016) Adrian ja Brunnermeier kehittivät ennakoivan $\Delta CoVaR$ -mittarin (tutkimuksessa termi *forward- $\Delta CoVaR$*). Ennakoiva $\Delta CoVaR$ muodostetaan ekonometrisellä regressiolla, jossa eri ajanhetkillä $\Delta CoVaR$ esitetään viivästettyjen muuttujien avulla. Näitä muuttujia ovat instituutiokohdattaiset tunnuspiirteet kuten koko ja velkaantuneisuus (Adrian & Brunnermeier 2016). Viivästetyssä regressiossa mallinnetaan selitettävää muuttujaa ajanhetkellä t selittävillä muuttujilla ajanhetkellä $t-1$.

On argumentoitu, että $\Delta CoVaR$ ei havainnoi tarkasti tarkasteltavan kohteen kokoa tai velkaantuneisuutta (Acharya et al. 2012). Adrian ja Brunnermeier toisaalta kertovat tutkimuksessaan (2016), että $\Delta CoVaR$ pystyy huomioimaan pienikokoiset pankit, jotka eivät

yksin luo systeemistä riskiä, mutta jotka osana suurta joukkoa muuttuvat systeemisesti merkittäväksi, sillä niillä on samankaltaiset taseet ja rahoituskanavat. Tällöin ne ovat alttiita samoille uhkatekijöille. Pienten pankkien identifiointi tapahtuu käyttämällä viivästettyä regressiota. Väite perustellaan asetelmalla, jossa yksi iso systeemisesti kriittinen toimija kloonataan moneksi pieneksi toimijaksi, jolloin tilanne on verrannollinen edellä kuvattuun pienten pankkien ryhmään. Tämän kloonin $\Delta CoVaR$ on yhtä suuri kuin alkuperäisen suuren instituution $\Delta CoVaR$.

3.3 Johdannaisperusteinen menetelmä

Eräs tutkimussuuntaus on valinnut lähestymistavakseen systeemisen riskin suuruuden arvioinnin ehdollisten johdannaisten (engl. *contingent claim*) avulla (Acharya et al. 2017). Tässä menetelmässä pankin pääoma (engl. *equity*) tulkitaan pankin varallisuuksien ostooptiona (Lehar 2005). Oleellista on, että pankin omaisuuksien arvot eivät ole stabiileja, vaan ne käyttäytyvät stokastisesti, jolloin yksittäisen varallisuuserän todellinen arvo saattaa olla matalampi tai korkeampi kuin sen ilmoitettu arvo (Gray & Jobst 2010). Käyttämällä apuna aikasarja-aineistoa osakkeiden hinnoista sekä tasetietoja, voidaan muodostaa markkina-arvo pankin varallisuusportfoliolle ja havainnoida siihen vaikuttavia tekijöitä. Jotta tätä portfoliota voidaan käyttää mahdollisimman hyvin systeemisen riskin suuruuden arviointiin, on tärkeää huomioida eri pankkien varallisuusportfolioiden tuottojen välinen korrelaatio. Systeeminen riski riippuu positiivisesti tästä korrelaatiosta. Pankkien reservisuhde on merkittävä tekijä tässä mallissa. Suuri käteisvarantosuhde laimentaa negatiivisten shokkien vaikutusta pankin vakauteen. Kolmantena tärkeänä tekijänä on volatilitiiteetti, minkä kasvaessa myös systeemisen riskin suuruus kasvaa. (Lehar 2005)

Lehar tutkimuksessaan (2005) on käyttänyt tätä menetelmää. Hänen mukaansa pankkien varallisuuksien tuottojen korrelaation huomioiminen tekee tästä mallista innovatiivisen. Johdannaisperusteisessa lähestymistavassa käytetään mallin matemaattiseen muodostamiseen Mertonin (1974) suurta akateemista huomiota saanutta matemaattista riskienhallintamenetelmää. Ehdollisten johdannaisten hinnoitteluun eli arvon määrittelykseen on vaikuttanut niin ikään valtavaa huomiota myöhemmin saanut Black & Scholesin optiohinnoittelumalli (1973). Nämä luovat matemaattisen pohjan johdannaisperusteiseen systeemisen riskin mittaamiseen (Gray & Jobst 2010). Tätä mallia voidaan hyödyntää systeemisen riskin suuruuden analysoinnissa siitä näkökulmasta, että se auttaa hahmottamaan riskiä, joka syntyy pankkien korreloivista taseista. Malli ei sovellu käytettäväksi tartuntariskin määrittämiseen. (Lehar 2005)

Leharin (2005) lopputulos systeemisen riskin mittaamiseen oli malli, joka antaa todennäköisyyden, jolla annettu määrä pankkeja päätyy konkurssiin. Kirjallisuudessa suuretta kuvataan lyhenteellä PD (engl. *probability to default*) (Huang et al. 2009). Käyttäen Mertonin mallia, voidaan myös tulevaisuuden alijäämä (engl. *shortfall*) mallintaa myynti-op-

tiolla varallisuusportfoliosta. Tämä portfolio tulkitaan tässä menetelmässä markkina-avalvojan vastuuksi. Määrittämällä markkina-avalvojan vastuiden nykyarvo ja volatilitteetti, on mahdollista arvioida sopiva talletussuojarahaston koko. Talletussuojarahastoon turvaututaan, mikäli pankki joutuu maksukyvyttömäksi. Analysoimalla markkina-avalvojan vastuuportfoliota voidaan selvittää yksittäisen pankin kontribuutio systeemiseen riskiin tai suuremmassa mittakaavassa tietyn markkina-alueen kontribuutio laajempaan kokonaisuuteen. (Lehar 2005) Ehdollisiin johdannaisiin perustuvaa määrittäytapaa on kritisoitu sen vaatimista voimakkaista oletuksista pankin vastuihin liittyen (Acharya et al. 2017). Markkinadatan käyttäminen kuitenkin parantaa mallin todenmukaisuutta (Huang et al. 2009).

3.4 Odotettu alijäämä, *MES/SES*

Yksittäisen pankin riskillisyyttä voidaan tutkia käyttämällä odotetun alijäämän (engl. *expected shortfall*) *ES* suuruutta. Yhdessä edellä esitetyn *VaR*in kanssa, ne pyrkivät esittämään mahdollisia tappioita yksittäiselle toimijalle äärimmäisissä olosuhteissa. *ES* voidaan määrittellä *VaR*in avulla, jolloin *ES* on yhtä suuri, kuin pankin *i* tappio niinä päivinä, kun portfolion tappiot ylittävät *VaR*:n arvon. *ES*:n etu *VaR*iin verrattuna on se, että se huomio paremmin pahoja tappioita. (Acharya et al. 2017) Tuottojakauman hännän käyttäytyessä poikkeavasti, *ES* antaa realistisemman kuvan.

Yhden pankin osaston vaikutus koko pankin riskiin voidaan selvittää *MES*in (engl. *marginal expected shortfall*) avulla. Matemaattisesti tämä tapahtuu ottamalla yksittäisen pankin odotetusta alijäämästä *ES* osittaisderivaatta osaston tappioiden suhteen, jolloin saadaan tämän osaston *MES*. Skaalaamalla menetelmä pankkijärjestelmän tasolle voidaan selvittää yhden pankin tappiot systeemin ollessa kriisissä. Pankin *i* *MES* on pankin *i* odotettu alijäämä koko pankkisysteemin ollessa kriisissä. (Acharya et al. 2017).

Acharya et al. (2017) määrittelevät systeemisen riskin komponentin, systeemisen odotetun alijäämän *SES* (engl. *systemic expected shortfall*). *SES* on se pankin pääoman määrä, joka alittaa vaaditun arvon kriisin aikana. Tämä vaadittu arvo on osa *z* pankin varoista *a*. Mallissa kriisi on määritelty tilanteena, jossa koko pankkiverkoston yhteenlaskettu pääoma *W₁* alittaa vaaditun arvon, joka on osuus *z* kaikista pankkijärjestelmän yhteenlasketuista varoista *A*. Matemaattisesti pankin *i* *SES* määritellään

$$SES^i \equiv E[za^i - w^i | W_1 < zA], \quad (1)$$

jossa *w* on pankin pääoman määrä ja *SESⁱ* pankin pääoman vajeen odotusarvo, joka on ehdollinen kriisille. Kriisiä ei pääse tapahtumaan, mikäli kaikki pankit pitävät oman pääomansa *w* vaadittua määrää *za* suurempana. Pankin, jonka *SES* on positiivinen, odotetaan kriisin tullen vaikuttavan siihen negatiivisesti, sillä kriisitilanteessa (*W₁* < *zA*) pankilla voidaan odottaa olevan ongelmia maksuvalmiudessa. (Acharya et al. 2017)

Koska suuria pankkikriisejä tapahtuu harvoin, oletettavasti vain nollasta kahteen kertaan vuosikymmenen aikana, on pankkien vakautta tarkkailtava vakaampina aikoina. Tutkimalla vakaiden aikojen huonoja päiviä voidaan arvioida pankkien vakavaraisuutta myös kriisissä. Yksi komponentti *SESistä* voidaan teoriassa arvioida tiedoista, joita saadaan vakaina aikoina. Tämä tapahtuu tarkkailemalla tiettyä prosenttia p (Acharya et al. (2017) ovat käyttäneet 5 %:ia) vakaiden aikojen markkinoiden huonoimpina päivinä $I_p\%$ ja arvioimalla pankin pääoman w muutosta $I_p\%$ -päivinä saadaan MES pankille i . *SESin* määrittämiseen tarvitaan *MESin* lisäksi kahta muuta komponenttia. Toinen on kriisiä edeltävä liiallinen pääomavaje (engl. *undercapitalization*), joka ilmoitetaan osuutena pankin pääomasta. Viimeinen komponentti on kustannus, joka syntyy rahoituksellisesta kriisistä. Tähän kustannukseen vaikuttaa positiivisesti esimerkiksi firman velkavipu. Tätä kustannusta on kuitenkin hankala määrittää vakaiden aikojen tietojen avulla. (Acharya et al. 2017)

3.5 *SRISK*

SRISK on systeemisen riskin mittari, joka on luotu kuvaamaan yksittäisen pankin kokeaman pääoman menetystä systeemisesti merkittävässä kriisissä. Lähtökohtana on ollut luoda malli, joka voidaan muodostaa julkisesti saatavilla olevista tiedoista, jolloin metodi on myös kustannustehokkaasti käytettävissä. (Brownlees & Engle 2016) *SRISKin* ensimmäiset muotoilut on tehnyt Acharya et al. (2012); tässä kandidaatintutkielmassa se esitellään tutkijoiden Brownlees ja Engle (2016) mukaan.

Brownlees ja Engle (2016) tarkastelevat muuttujana omaisuusvajetta CS (engl. *capital shortfall*). Tässä yhteydessä täytyy erottaa pankin pääoma w sekä käteisreservi c , jota tutkimuksessa käsitellään englannin kielen termillä *capital*. Ajanhetkellä t CS pankille i määritellään varojen ja vastuiden avulla

$$CS_{it} = ka_{it} - w_{it} = k(d_{it} + w_{it}) - w_{it}, \quad (2)$$

jossa a on pankin varojen kirjanpitoarvo, d on velkojen kirjanpitoarvo ja k on vakavaraisuusvaatimus. CS :ää voidaan pitää pankin negatiivisena käyttöpääomana. CS :n ollessa negatiivinen, pankilla on käyttöpääomaa toimiaseen ja pystyy toimimaan. (Brownlees & Engle 2016) Pankin käteisreservi on lainana saadusta rahasta tietty osuus, jota pankki ei lainoita eteenpäin, vaan jättää taseeseensa puskuriksi. Sen suuruus riippuu pankin omasta harkinnasta ja valvojan sääntelystä. CS_{it} :n ollessa negatiivinen pankki on normaalitilassa.

Brownlees ja Engle (2016) määrittävät *SRISKin* pankille sen CS :nä tilanteessa, jossa pankkisysteemi on kriisissä. *SRISK* on funktio pankin koosta, velkavivusta ja odotetusta pääoman laskusta heikossa markkinassa. Viimeistä termiä kuvataan lyhenteellä *LRMES* (engl. *long run marginal expected shortfall*). *SRISK* voidaan laskea käyttämällä apuna pankin tasetietoja ja sopivaa estimaattia *LRMES*:lle. *LRMES* estimoidaan mallissa Englen (2002) kehittämällä ekonometrisella menetelmällä.

SRISK on suunniteltu erottelemaan systeemisesti tärkeät toimijat. Pankkisysteemin ajautuessa vakavaan kriisiin korkean *SRISK*-indeksin pankit ovat todennäköisimpiä aggregaattitason pääomavajeen kasvattajia. Tutkijoiden ajatus on verrannollinen Acharyan (2017) malliin, jossa pankin saadessa heikkoja arvoja on se todennäköinen kriisin myötävaikuttaja. Pankin koko, velkaantuneisuus ja sen pääomavajeen herkkyys ympäristön kriisiytyessä ovat kaikki suoraan verrannollisia *SRISKiin*. Malli myös olettaa, että systeemisen kriisin aikana pankki ei voi neuvotella velkojaan uudelleen, jolloin velan suuruus kriisitilanteessa on sama kuin sen arvo ennen kriisiä. (Brownlees & Engle 2016)

Koko systeemin riskillisyyttä havainnoitaessa voidaan toimijoiden *SRISKit* summata, jolloin saadaan koko pankkijärjestelmää koskeva systeemisen riskin mittari. Summatut *SRISKit* voidaan ajatella sinä summana, jonka valtio joutuu varaamaan pankkijärjestelmän pelastuspakettiin. Systeemitason *SRISK* ei ota huomioon negatiivisen *SRISKin* toimijoita, sillä mallissa oletetaan, että toimivien pankkien käteispuskureita ei saada käyttöön systeemitason tilanteen helpottamiseksi. Systeemistason *SRISK* soveltuu myös estimaattoriksi laajemmille taloudellisille ongelmille. (Brownlees & Engle 2016)

SRISK yhdistää sekä taseesta että markkinoilta saatavan informaation yhdeksi systeemisen riskin mittariksi. Brownlees ja Engle (2016) argumentoivat, että *SRISK* on eteenpäin katsova menetelmä, sillä markkinainformaatio huomioi tulevaisuuden tekijöitä, joita ei taseessa ole huomioitu, ja näin ollen oikaisee vanhentuneet tai epäkurantit kirjanpitoarvot. Tutkijat myöntävät, että mallissa on jouduttu tekemään olettamuksia, jotka saattavat häiritä tarkkuutta mutta toisaalta tekevät menetelmän käytännön soveltamisesta tehokkaampaa. Tutkijat suosittelevat käyttämään mallin soveltamisessa voimakasta riskiskenaariota, jotta malli todella osoittaa pankin tilan kriisissä.

SRISK vertautuu muihinkin tässä työssä esiteltyihin systeemisen riskin mittaamenetelmiin. Brownlees ja Engle (2016) vertaavat *SRISK*:iä Acharyan et al. (2017) *SES*-menetelmään. Heidän mukaansa *SES* perustuu liikaa rakenteellisiin oletuksiin ja se lisäksi vaatii havaintoja realisoituneesta systeemisestä kriisistä. Näin ollen *SES* toimii huonosti ennakoivassa mittaamisessa (Brownlees & Engle 2016). *SRISK* ei heidän mukaansa kärsi näistä ongelmista. Myös *SRISKille* täytyy kuitenkin kyetä määrittämään oikeat parametrit, jotta todellista systeemistä kriisiä kyetään mallintamaan. Brownleesin ja Englen (2016) mukaan *SRISKille* samanhenkinen verrokki on riskinhallintateoriaan perustuva ja johdannaisteoriaa käyttävä systeemisen riskin malli, kuten edellä esitetty Leharin (2005) menetelmä. Ehdollisten johdannaisten mallissa lähdetään kuitenkin liikkeelle skenaariosta, jossa pankki on tehnyt konkurssin, kun taas *SRISK*-mallissa oletetaan, että systeemi kykenee selviytymään yksittäisestä konkurssista ilman systeemistä kriisiä.

3.6 CES

CES (engl. *component expected shortfall*) on systeemisen riskin määrittäminen menetelmä, joka on syntynyt tarpeesta tunnistaa systeemisesti tärkeät rahoitusinstituutiot *SIFI*t (engl.

systemically important financial institutions) (Banulescu & Dumitrescu 2015). Systemisesti tärkeälle instituutiolle on tunnusomaista, että ongelmat tai epäselvyydet niiden toiminnassa tai vakavaraisuudessa, mitkä voivat johtua niiden koosta, monimutkaisuudesta tai verkottuneisuudesta, aiheuttavat mittavia häiriöitä koko rahoitusjärjestelmälle (Lines 2010). Banulescu ja Dumitrescu ovat tutkimuksessaan (2015) lähteneet luomaan mallia, joka pystyy huomioimaan sekä ”liian suuret kaatuakseen” (*TBTF*) että ”liian verkottuneet kaatuakseen” (*TITF*). *CES* menetelmänä lähtee liikkeelle tarttumalla *MESin* ja *SRISKin* ongelmakohtiin käyttäen kuitenkin pohjana hyviä ominaisuuksia näistä mittareista (Banulescu & Dumitrescu 2015).

Pankin *CES* mittaa kyseisen toimijan absoluuttista kontribuutiota koko rahoitusjärjestelmän odotettuun alijäämään *ES*. *CES:n* määritelmä on lähellä aiemmin työssä esitettyä *MESin* määritelmää. Ero näiden kahden mittarin välillä on, että *CES* huomioi pankin painon koko rahoitusjärjestelmälle, jolloin *CES:ää* voidaan pitää absoluuttisena mittarina. *MES* puolestaan on suhteellinen mittari, joka ei huomioi pankin painoarvoa koko järjestelmälle. Matemaattisesti ilmaistuna pankin *i CES* ajanhetkenä *t* voidaan esittää

$$CES_{it} = w_{it} \frac{\partial ES_{m,t-1}(C)}{\partial w_{it}}, \quad (3)$$

jossa *w* on pankin paino järjestelmässä ja *ES_m* koko finanssijärjestelmän odotettu alijäämä. Parametri *C* viittaa *ES:n* määrittämisessä kriisin tasoon. (Banulescu & Dumitrescu 2015)

CES:n ominaisuuksiin kuuluu, että kaikkien järjestelmään kuuluvien pankkien yhteenlaskettu *CES* on yhtä suuri kuin koko järjestelmän *ES*. Tämä mahdollistaa sen, että yhden pankin kontribuutio systeemiseen riskiin voidaan osoittaa prosenttimuodossa. Mitä suurempi yhtiön *CES* on, sitä suurempi vaikutus sillä on koko systeemin riskiin. Banulescu ja Dumitrescu (2015) argumentoivat, että *MES* ei ota huomioon tärkeää *SIFIn* ominaisuutta, pankin painoarvoa systeemissä, minkä vuoksi *CES* on luotettavampi menetelmä arvioida systeemisesti kriittisiä pankkeja. *CES* eroaa toisaalta *SRISKistä* siten, että *CES:n* määrittäykseen käytetään vain markkinatietoa, eikä tasetietoja lainkaan. *CES* pysyy myös suhteellisen vakiona ajassa, mikä osaltaan tekee siitä sopivan markkinasääntelijän näkökulmasta. (Banulescu & Dumitrescu 2015)

CES on menetelmä, jonka avulla voidaan selvittää pankin systeemistä tärkeyttä niin valvojan kuin pankin itsensä näkökulmasta. Vähäinen kontribuutio systeemiseen riskiin on myös yksittäisen pankin oma intressi, sillä pieni systeemisen riskin vaikutus saattaa alentaa pankin maksamia vakaussmaksuja. *CES* toimii myös ennustavana mittarina systeemille riskille, niin koko systeemi- kuin yksilötasolla. (Banulescu & Dumitrescu 2015)

3.7 *Systeemisyy*

Greenwood et al. (2015) aloittivat kehittämään edellisistä systeemisen riskin mittareista poikkeavaa mallia, joka pureutuu tartunnan ilmiöön: pankin kohdatessa shokin sen on tasapainotettava tasettaan, jolloin varallisuuserien myyminen on usein järkevin vaihtoehto. Sopivien ostajien ollessa vähissä varallisuuserien hinnat laskevat, mikä aiheuttaa tasepaineita muissa pankeissa. Tutkijat kehittivät *systeemisyy*-mittarin (engl. *systemicness*), joka mittaa pankin kontribuutiota koko rahoitusjärjestelmän haavoittuvuuteen. Mahdollisten omaisuuserien hintojen tippuessa muut pankit joutuvat vähintään alaskirjaamaan omaisuuksiensa tasearvoja. Malli pyrkii täyttämään kuilun systeemisesti tärkeän toimijan ja haavoittuvan toimijan välillä. Esimerkiksi pieni pankki voi pienen kokonsa vuoksi olla systeemisesti vähämerkityksinen, mutta joutuessaan omaisuuseriensä pakkomyyntitilanteeseen voi näiden erien arvon lasku heijastua laajasti finanssijärjestelmään. (Greenwood et al. 2015)

Mallissa tehdään oletuksia, joiden puitteissa systeemistä riskiä arvioidaan. Vahvistaakseen tasettaan ja saavuttaakseen velkaantuneisuustavoitteensa pankin on myytävä omaisuuseriään. Malli olettaa, että eri omaisuuseriä myydään samassa suhteessa kuin niitä omistetaan. Myynti aiheuttaa aina painetta kunkin omaisuuserän markkinahinnalle. Näiden olettamuksien avulla määritellään *systeemisyy*, joka on funktio pankin koosta, velkaantuneisuudesta ja verkottuneisuudesta. Suurempi koko tai suurempi velkaantuneisuus johtaa suurempiin omaisuuserien pakkomyynteihin, joilla on suurempi vaikutus omaisuuserien hintatasoon. Verkottuneisuudella viitataan tilanteeseen, jossa pankilla on (omaan taseeseensa suhteutettuna) suuria omistuksia omaisuuserissä, jotka ovat epälikvidejä ja joihin monet muut pankit ovat myös altistuneet. Pankin omaisuuserien odotettu volatilitteetti vaikuttaa systeemisyyteen. Tässä menetelmässä käytetään lähtötietoina pankin taseista saatavia tietoja, minkä avulla *systeemisyy* voidaan estimoida. *Systeemisyyden* lisäksi tutkijat kehittivät *epäsuoran haavoittuvuuden*, suureen (engl. indirect vulnerability), joka kertoo pankin herkkyyden muiden pankkien pakkomyyntien aiheuttamille negatiivisille vaikutuksille. (Greenwood et al. 2015)

Systeemisyy rinnastuu työssä esitettyyn $\Delta CoVaR$ -mittariin (Greenwood et al. 2015). Molemmat menetelmät pyrkivät selvittämään, miten yksittäisen pankin kriisiytyminen vaikuttaa koko rahoitusjärjestelmän vakauteen. $\Delta CoVaR$ in ja *systeemisyyden* suurin ero on, että $\Delta CoVaR$ estimoi systeemistä riskiä käyttämällä aineistonaan osakkeiden tuottoja. *Systeemisyy* perustuu tartunnan asetelmaan, jolloin voi syntyä erilaisia tuloksia, sillä kriisitilanteissa pankkien tuotot voivat käyttäytyä hyvin eri tavalla normaalitilanteeseen nähden (Greenwood et al. 2015).

4. SYSTEEMISEN RISKIN MITTAREIDEN KÄYTTÖ KÄYTÄNNÖN ESTIMOINNISSA

4.1 CoVaR

Adrian ja Brunnermeier käyttävät tutkimuksessaan (2016) $\Delta CoVaR$ illa in estimoimiseen kvanttiiliregressio-menetelmää, sillä se on numeerisesti tehokkain tapa tutkia $\Delta CoVaR$ ia eri pankeille. $\Delta CoVaR$ in estimoimiseen käytetään julkisesti saatavia markkinatietoja esimerkiksi pankin oman pääoman tuotosta markkinoilla. Otos perustuu julkisesti noteerattuihin pankkeihin ja muihin välittäjiin, vakuutusyhtiöihin ja kiinteistösijoitusyhtiöihin. Tutkittava tieto on kerätty ajalta 1971–2013 kattaen kuusi taantumaa, mukaan lukien vuonna 2007 alkunsa saaneen finanssikriisin. Adrian ja Brunnermeier testaavat estimoinnissa sekä 95 että 99 prosentin luottamustasoilla eri instituutioiden VaR in ja $CoVaR$ in. (Adrian & Brunnermeier 2016)

Tekijät huomauttavat, että numeerista estimointia voidaan tehdä vertaamalla pankin varojen ja vastuiden erotusta. Tämä määrittäminen perustuu tietoihin, jotka eivät ole julkisia, mutta markkinavalvojan saatavilla. Se mahdollistaa analysoinnin myös niille pankin omaisuuserille, joita ei julkisesti saatavista tiedoista voida mallintaa. Lisäksi valvojalla on parempi käsitys pankin altistumisesta erilaisille johdannaisriskeille. (Adrian & Brunnermeier 2016)

Tutkimuksessa havaittiin, että instituution VaR illa ja $\Delta CoVaR$ illa on vain löyhä yhteys toisiinsa poikkileikkausaineistossa (Adrian & Brunnermeier 2016). Korrelaatio pankin oman riskillisyyden ja pankin aiheuttaman systeemitasen riskin välillä on heikko. Haldrup ja Mayn (2011) tukevat ajatusta, jonka mukaan pankki saattaa yksinään näyttää vähäriskiseltä, mutta luo suuremman riskin osana systeemiä. Adrian ja Brunnermeier tutkivat (2016) määrittelemäänsä ennakoivaa $\Delta CoVaR$ ia ja etsivät ominaispiirteitä, jotka ennustavat tulevaisuudessa suurta $\Delta CoVaR$ ia. Tulokset osoittivat, että suuri velkaantuneisuus, maturiteettien yhteensopimattomuus sekä pankin koko ovat näitä tekijöitä. Maturiteettien yhteensopimattomuudella viitataan varojen kirjanpitoarvon suhdetta lyhytaikaiseen velkaan vähennettynä lyhytaikaisilla sijoituksilla ja käteisellä. (Adrian & Brunnermeier 2016)

Muissa tutkimuksissa on empiiristä aineistoa testattu $\Delta CoVaR$ -menetelmällä. Castro & Ferrari käyttävät tutkimuksessaan (2014) $\Delta CoVaR$ -menetelmää eurooppalaisten pankkien systeemisen riskin analysointiin. Siinä tutkimuksessa selvitettiin, voidaanko yksin $\Delta CoVaR$ in avulla luokitella pankkia systeemisesti merkittäväksi toimijaksi tai voidaanko pankkeja laittaa järjestykseen niiden kontribuutiosta systeemiseen riskiin. Empiirisessä

testauksessa tietoina käytettiin 26 eurooppalaisen pankin osakkeiden päiväkohtaista tietoa viikoittaisista tuotoista tammikuusta 1999 maaliskuuhun 2012. Tutkimuksen tuloksissa huomattiin, että hyvin harva pankki voidaan identifioida systemisesti merkittäväksi tiettyä ajanhetkenä $\Delta CoVaR$ in avulla. Kun estimoinnissa korostettiin pankin kokoa, erot muuttuivat selkeämmiksi. Tutkimuksessa huomattiin, että joidenkin pankkien $\Delta CoVaR$ muuttui ajassa, jolloin toisena hetkenä turvalliselta näyttänyt pankki saattaakin muuttua systemisesti kriittiseksi tai päinvastoin. (Castro & Ferrari 2014)

Tutkimuksessa havaittiin ongelmia $\Delta CoVaR$ in käytössä identifioimaan systemisesti tärkeitä pankkeja. Tätä voidaan selittää sillä, että $\Delta CoVaR$ soveltamisessa tehdään olettaus tutkittavien muuttujien lineaarisesta riippuvuudesta toisiinsa, mikä rajoittaa $\Delta CoVaR$ in toimivuutta käytännön päätöksenteossa. Ongelmaa voidaan lievittää parantamalla estimoinnissa käytettäviä ekonometrisia menetelmiä. Tulosten luotettavuus kohenisi, jos analysointiin tuotaisiin mukaan otoksen ulkopuolista tietoa. (Castro & Ferrari 2014)

Kuten luvussa 3 on määritelty, pankin i $\Delta CoVaR$ on koko pankkiverkoston VaR in muutos, kun pankki i on ajautunut kriittiselle VaR -tasolle. Girardi ja Ergün määrittivät $\Delta CoVaR$:n pankille i olevan systeemin VaR in muutos, kun pankki i on vähintään kriittisellä VaR -tasolla, mikä eroaa hieman Adrianin ja Brunnermeierin (2016) määritelmästä. Näin $\Delta CoVaR$ huomioi tuottojakauman hännän normaalijakaumasta poikkeavia ominaisuuksia. Tutkijat testasivat yhdysvaltalaisen finanssi-instituutioiden osakkeiden tuottoja 2000-luvun alusta vuoteen 2008. (Girardi & Ergün 2013)

Tuloksissa löydettiin kaikilla finanssi-instituutioilla $\Delta CoVaR$ in kohoamista ennen finanssikriisiä. Gigardi ja Ergün (2013) havaitsivat vain heikon yhteyden yksittäisen pankin VaR in ja $\Delta CoVaR$ in välillä. Tutkijat päätyivät samaan lopputulokseen kuin muutkin $\Delta CoVaR$ ia käyttäneet tutkijat. Pankille asetettavat säännökset eivät ole parhaita mahdollisia, mikäli tutkitaan vain pankin riskillisyyttä (tässä tapauksessa VaR :n avulla) eristyksissä muusta systeemistä, sillä pankin systeemisen riskillisyyden ja eristetyn riskillisyyden ($\Delta CoVaR$ ja VaR) välillä on vain löyhä korrelaatio. Tutkijat havaitsivat positiivisen korrelaation $\Delta CoVaR$ in kanssa toimijan koon ja velkaantuneisuuden kohdalla. Tätä korrelaatiota he eivät kuitenkaan pitäneet erityksen voimakkaana. Vahvin korrelaatio havaittiin pankin betan ja $\Delta CoVaR$ in välillä. (Girardi & Ergün 2013) Betalla viitataan osakkeen vahvaan korrelaatioon markkinan kanssa.

4.2 Johdannaisperusteinen menetelmä

Lehar tutkimuksessaan (2005) kehitti oman johdannaisperusteisen menetelmänsä, jota hän myös testasi sitä empiiriseen aineistoon. Aineistonaan hänellä oli noin 150 eri pankkia useista eri maista ajalta 1986–2002. Otokseen valikoitui pankit niiden suuren kokonsa perusteella, joiden markkinatiedot ja tase olivat saatavilla. Leharin menetelmän mukaisesti, aineistosta tutkittiin varallisuuserien keskinäisiä korrelaatioita, volatilitteettia ja pankin kokoa. (Lehar 2005)

Estimoinnissa voitiin nähdä, että tutkimalla varallisuuserien välisiä korrelaatioita osakkeiden korrelaation sijaan, pystytään eristämään tarkastelusta muutokset pääomaraken- teessa. Näin saadaan parempaa indikaatiota systeemiseen riskiin. Tutkimuksessa havait- tiin, että tarkastellulla aikavälillä korrelaatiot pysyivät suhteellisen muuttumattomina. Eu- rooppalaiset pankit osoittautuivat vähiten korreloiviksi, mikä viittaisi siihen, että pankit ovat erilaisen regulaation alaisina eri maissa. Tämä kannustaa niitä toimimaan eri tavoin, jolloin taseiden yhteneväisyys on vähäisempää. Tarkasteltavaan aikaväliin mahtuneet kriisit, kuten Neuvostoliiton romahtaminen, Meksikon pesokriisi tai Jugoslavian sota ei- vät vaikuttaneet pankkien varallisuuserien korrelaatioihin. (Lehar 2005)

Lehar (2005) määrittää systeemisen riskin indeksiin, johon hän yhdisti tuloksia, joita hän sai edellä kuvatusta otoksestaan. Indeksiksi sai eri arvoja riippuen siitä, miten se painottaa pienempien pankkien vaikutusta. Leharin määrittämä odotetun alijäämän määrä, joka in- dikoi tarvittavan talletussuojarahaston kokoa, pysyy Aasian vuoden 1998 kriisiä lukuun ottamatta melko vakaana. Tuloksista havaittiin, että vähäisien varallisuuskorrelaation maissa odotetun tappion määrä pysyy vakiona. Kaikkien eri alueiden pankkien kohdalla parempi pankin kannattavuus pienensi systeemisen riskin todennäköisyyttä. Pankin suuri käteisreservi indikoi pientä kontribuutiota systeemiseen riskiin. (Lehar 2005)

On huomioitava, että Leharin tutkimus (2005) on tehty ennen finanssikriisiä, jolloin joh- dannaisperusteisen menetelmän toimivuutta viimeisimpään isoon pankkikriisiin ei tässä tutkimuksessa voitu luonnollisesti testata tutkimuksessa, jossa se kehitettiin. Tätä kandi- daatin tutkielmaa tehdessä en myöskään havainnut muita tutkimuksia, missä Leharin luo- maa menetelmää olisi testattu finanssikriisin aikaiseen aineistoon. Leharin tutkimus esiin- tyy useissa systeemisen riskin tutkimuksissa vertailukohtana, joten sillä on ollut vaiku- tusta alan tutkimukseen konseptuaalisella tasolla.

4.3 Odotettu alijäämä, *MES/SES*

Acharya et al. (2017) selvittivät tutkimuksessaan, miten systeemisen riskin mittari *SES* olisi osoittanut instituutiot, jotka vaikuttivat kriittisesti vuosien 2007–2009 kriisiin. Tut- kijat estimoivat *SES*in numeerisesti käyttämällä velkaantuneisuutta ja *MESiä*. Lähtötie- toina he käyttivät osakkeitten päivittäistä tuottohistoriaa ja julkisesti noteerattujen laina- pakettien (*CDS*, engl. *credit default swap*) hintatietoja ja analysoivat viisi prosenttia markkinan huonoimmista päivistä. Tutkijat myöntävät, että ”normaalien aikojen huonot päivät” eivät vastaa todellisen kriisin huonoja päiviä. (Acharya et al. 2017)

Mittausajankohdan ollessa kesäkuu 2007 saivat korkeimman *SES*in arvoja pankit kuten Bear Stearns, Freddie Mac, Fannie Mae, Lehman Brothers ja Merrill Lynch, mitkä kaikki ajautuivat kriisissä vakaviin ongelmiin, jotka johtuivat konkurssiin, julkiseen pelastus- operaatioon tai myyntiin. (Acharya et al. 2017) *SES* vaatii havaintoja kriisin ajalta, eikä sen vuoksi *SES* ei sovellu ennustaviin analyyseihin.

Acharya et al. (2017) käyttää ennustavana mittarina *MESiä*, joka ei tarvitse kriisin aikaisia tietoja estimoitavakseen. Kun tutkijat määrittivät pankkien *MESin* vuodelta ennen kriisiä, osoittautui, että korkea *MES* ennen kriisiä ennusti myös korkeampia negatiivisia tuottoja kriisin aikana. Tutkijat huomauttavat, että esimerkiksi AIG:n *MES* jäi huomattavan matalalle tasolle (kohdassa 2.3 on esitetty AIG:n kohtalo kriisissä). Tutkijoiden mukaan tämä johtui suurilta osin siitä, ettei *MES* yksin huomioi velkaantuneisuutta. *MESin* ja velkaantuneisuuden yhdistäminen onkin välttämätöntä, jotta voidaan arvioida systemisesti tärkeitä instituutioita. (Acharya et al. 2017)

Tutkijat tekivät mielenkiintoisen huomion tutkiessaan poikkileikkausaineistoa *MESin* ja perinteisten pankkikohtaisten riskimittareiden, kuten volatilitetti tai beta, kanssa. Tilastolliset selitysasteet R^2 jäivät hyvin matalaksi tässä aineistossa. (Acharya et al. 2017) Tämä tarkoittaa, että perinteisillä riskimittareilla ei voida selittää *MESin* ja velkaantuneisuuden aiheuttamaa systeemistä riskiä, mikä osaltaan todistaa tarpeen systeemiseen riskiin pureutuvien mittareiden tarpeellisuudesta. Päätöksiä yksittäisen pankin säätelystä (vakuusmaksutasojen asettaminen, veroaste tai muut käytettävissä olevat työkalut) on vaikeaa määrittää *MESin* avulla, sillä *MESin* aikasarja-analyysissä *MES* ei pysynyt vakiona (Acharya et al. 2017). *MESillä* mitattuna pankki saattaa siis toisena aikana näyttäytyä systemisesti riskillisemmältä, kuin toisena aikana. *MES* pystyy erottamaan kriisin aikana sellaisia toimijoita, jotka todennäköisesti päätyvät kriisiin. Ne eivät kuitenkaan ole systemisesti kriittisiä (Popescu & Turcu 2014).

4.4 SRISK

Brownlees & Engle (2016) tutkivat suuria yhdysvaltaistoimijoita vuosina 2000–2012 käyttäen *SRISK*-menetelmää. He jakoivat toimijat neljään luokkaan: *talletuspankit* (engl. depositories), *sijoitustoimijat* (engl. broker-dealers), *vakuutustoimijat* sekä *muut*. Viimeimpään kategoriaan luokiteltiin toimijat, jotka toimivat esimerkiksi kiinteistömarkkinoilla. *SRISKin* numeeriseen määrittämiseen käytettiin vain niitä tietoja, jotka olisivat oikeasti ollut mahdollista selvittää tarkasteltuna ajankohtana. Tutkimuksen mukaan systeemitason *SRISK*, joka tarkoittaa koko pankkijärjestelmän yhteenlaskettua *SRISKiä* – toisin sanoen odotettua alijäämää (verrannollinen myös valvojan ylläpitämän talletussuojarahaston arvioituun kokoon) – oli vuosina 2005–2007 noin 100 miljardia. Finanssikriisin puhjettua systeemitason *SRISK* kasvoi vuoden aikana noin 800 miljardiin, eli 8-kertaistui. Vuosina 2010–2013 systeemitason *SRISK* tippui noin 300 miljardin tasolle. Koholle jäänyttä tasoa perustellaan muun muassa Euroopan velkakriisillä. Lukuun ottamatta sektoria *muut*, kaikki eri ryhmät kasvattivat systeemistä riskiä, erityisen suuri riskitason nousu nähtiin talletuspankeissa. Huomattavaa on, että ennen finanssikriisiä suurimman *SRISKin* muodostivat *muut* ja *sijoitustoimijat*. Finanssikriisin jälkeen talletuspankkien luoma systeeminen riski muuttui merkittävimmäksi systeemitason *SRISKin* luojaksi. Pankit, joilla oli ennen finanssikriisiä (vuoden 2005 alussa) korkea *SRISK*, vaikuttivat kaikki merkittä-

västi tavoillaan finanssikriisiin ja kriisin vuosina suuri osa niistä joko pelastettiin tai annettiin kaatua. Kriisiaikoina suurimmat *SRISKin* pankit olivat suuria kuluttajapankkeja. (Brownlees & Engle 2016)

Tutkijoiden mukaan *SRISK* on ennakoiva mittari, jota voidaan käyttää hyväksi regulaatiotarkoituksiin. Toimijakohtainen *SRISK* ennusti finanssikriisissä pankit, jotka ajautuivat mittaviin maksuvaikeuksiin ja päätyivät lopulta pelastustoimien tai konkurssin kohteeksi. Tutkijat vertasivat *SRISKin* ennustekykä muihinkin mittareihin, muun muassa *SESiin*. *SRISKin* selitysaste R^2 oli korkein. Tutkijat osoittivat, että systeemitason *SRISK* pystyy ennakoimaan heikentyvää talouden tilaa, tuotannon tasolla ja työttömyydellä mitattuna. *SRISKin* ennusteominaisuudet yleiseen talouden tilaan ovat vahvoja erityisesti useampien kuukausien päähän. (Brownlees & Engle 2016) Tuoreessa tutkimuksessa, tutkijat Lin et al. (2018) toistavat Brownlees & Englen (2016) havainnon siitä, että kohonneella systeemitason *SRISKillä* on epäsuora yhteys teollisen tuotannon määrään ja työttömyysasteeseen. Tämä ekonometrinen havainto todistettiin useilla tilastollisilla luottamustesteillä.

SRISK on saanut paljon huomiota ja se on pitkälle viety systeemisen riskin mittari. Tätä tukee se, että *SRISKiä* on käytetty pankkijärjestelmän analysointiin myös tiedeyhteisön ulkopuolella ainakin Tanskan keskuspankissa (Grinderslev & Kristiansen 2016). *SRISK* on yleinen systeemisen riskin estimointimenetelmä alan tuoreimmissa tutkimuksissa, jossa halutaan selvittää tietyn ilmiön vaikutusta systeemiseen riskiin. Esimerkiksi Berger et al. tutkimus (2017), jossa selvitettiin julkisten pelastuspakettien vaikutusta systeemiseen riskiin käyttämällä systeemisen riskin suuruuden määrittämiseen *SRISKiä* ja *SESiä*. Myös Leroy & Lucotten (2017) mukaan *SRISKillä* on laaja hyväksyntä alan tiedeyhteisön keskuudessa systeemisen riskin mittarina, se on levinnyt moniin tutkimuksiin, sitä voidaan käyttää globaalina systeemisen riskin mittarina ja se on sovellettavissa yksittäisen pankin tasolle.

SRISKiä on verrattu suoraan pankkien omiin stressitesteihin. Euroopan pankkiviranomaisten vuonna 2014 tekemien stressitestien vastineeksi, Acharya et al. (2016) julkaisivat raportin, jossa haastettiin Euroopan pankkiviranomaisten tekemiä stressitestejä *SRISKillä*, jolloin tulokset ja johtopäätökset systeemisesti tärkeistä toimijoista olivat erilaisia. Kritiikistä Euroopan pankkiviranomaisten stressitestejä kohtaan teki painoarvoista se, että Acharyaa, Pierretiä sekä Steffeniä pidetään arvostettuina systeemisen riskin tutkijoina. Pankkiviranomaiset vastasivat tutkijoiden kritiikkiin todeten, ettei markkinatietoihin perustuvilla systeemisen riskin mittareilla kyetä tekemään tarpeeksi vahvoja johtopäätöksiä systeemisesti tärkeistä toimijoista, jotta sitä voitaisiin käyttää perusteena regulaatiolle (Homar et al. 2016). *SRISK* on akateemisesta menetelmästä yksi vahvimmista, juuri sen saavuttaman huomion perusteella. Kuten monet muutkin systeemisen riskin mittarit, *SRISK* on riippuvainen tiedoista, mitä on saatavilla, eikä sen soveltamiseen ole käytössä luottamuksellista ja yksityiskohtaista tietoa pankin omaisuusrakenteesta, mitä taas markkinavalvojalla on.

4.5 CES

CES:n kehittäjät, Banulescu ja Dumitrescu, arvioivat *CES*:ä tutkimuksessaan samanlaisella markkinatiedolla, kuin edellä mainitut Acharya et al. (2017) ja Brownlees & Engle (2016). Tutkijoiden tarkoituksena oli selvittää sekä historiallisesti systeemisesti riskilliset toimijat, sekä suurimmat myötävaikuttajat systeemiseen riskiin tutkimuksentekohetkestä puoli vuotta eteenpäin. Kuten *SRISK*, *CES* onnistuu erittelemään ennen finanssikriisiä korkean systeemisen riskin toimijat samoiksi, jotka ajautuivat merkittäviin ongelmiin kriisin pahimpina aikoina tutkimalla sen hetken suurimpia systeemisen riskin aiheuttajia. Mielenkiintoinen havainto tuloksissa oli, että systeeminen riski oli hyvin keskittynyttä. Vuoden 2007 lopussa, viisi suurinta systeemisen riskin toimijaa muodosti n. 40 % kokonaisriskistä ja kymmenen suurinta n. 58 %. *CES*:n indikoimat systeemisesti riskiset toimijat pysyivät huomattavan samoina ajan kuluessa. Muutoksia 15. riskillisimmän toimijan listassa ei juurikaan tapahtunut tarkasteltavana jaksona 2007–2010. Tutkijat vertasivat *CES*:n antamia systeemisesti kriittisiä toimijoita *MES*:in vastaaviin. Eroavaisuudet näiden mittareiden välillä johtuvat tutkijoiden mukaan siitä, että *MES* painottaa verkottuneisuutta, jolloin se antaa tuloksiksi pieniä verkottuneita pankkeja. *CES* pystyi havainnoimaan aiemmin kuin *MES* systeemisesti riskilliset toimijat. *CES* huomioi paitsi verkottuneisuuden myös absoluuttisen koon. Ottamalla huomioon molemmat tekijät, pystyttiin osoittamaan ne pankit, jotka vaikuttivat merkittävästi systeemiseen vakauteen finanssikriisin aikana. (Banulescu & Dumitrescu 2015)

Ennen finanssikriisiä analysoitaessa 6kk päähän systeemisesti riskillisiä toimijoita ja veratessa yhteen *CES*:in ja *SRISK*:in antamia tuloksia keskenään huomattiin, että nämä mittarit indikoivat lähes samat kriittiset toimijat, jotka myöhemmin finanssikriisissä joutuivat merkittäviin ongelmiin. Mielenkiintoinen havainto löytyi, kun tutkittiin korrelaatiota *CES*:n ja *SRISK*:in välillä. Korrelaatio näiden mittareiden ranking-listojen välillä ei ollut tilastollisesti merkittävä, mutta silti, ne tuottivat samanlaiset (noin 80-100 prosentin tarkkuudella) listat 10-15:ta systeemisesti riskillisimmistä toimijoista. (Banulescu & Dumitrescu 2015) Vaikka menetelmät eroavat toisistaan konseptitasolla ja ekonometrisilta valinnoiltaan toisistaan, vahvistavat ne toisensa tuloksia.

CES-mittaria on käytetty muissa tutkimuksissa analysoimaan systeemistä riskiä. Popescu & Turcu tutkivat (2014), synnyttääkö valtionvelka systeemistä riskiä Euroopassa. Tutkimuksen kohteena eivät olleet pankit, vaan valtiot. He käyttivät systeemisen riskin mittaamiseen *CES*:n lisäksi *MES*-mittaria. Lähtötietoina olivat euroalueen 10-vuotisien joukko-velkakirjalainojen maturiteettituotot. *CES* pystyi indikoimaan ne maat, jotka aiheuttavat suurimman riskin koko systeemille, ei niinkään niitä maita, jotka kohdistavat verkottuneisuudellaan suurimman systeemisen riskin itseensä. (Popescu & Turcu 2014) Kandidaatintutkielman puitteissa täytyy suhtautua varauksella empiirisiin tutkimuksiin, joissa ei ole tutkittu suoraan pankkijärjestelmää. Systeemisen riskin mittarit ovat suunniteltu tunnistamaan uhkia pankkijärjestelmään, eikä tartunta- ja muut riskimekanismit ole identtisiä valtiotasolla, vaikka niiden välille onkin mahdollista muodostaa vahva analogia.

Tämä ongelma on vielä vahvempi Liu et al. konferenssijulkaisussa (2015), jossa tutkittiin eri osakemarkkinoiden välisiä riskejä käyttäen *CES*-menetelmää. Nämä tutkimukset kertovat kuitenkin osaltaan *CES*:n saamasta akateemisesta huomiosta.

Menetelmän kehittäjät Banulescu ja Dumitrescu toteavat tutkimuksessaan (2015), että *CES* sopii hyvin systeemitason riskin mittariksi ennakkoivien ominaisuuksiensa vuoksi. He perustavat väitteensä sille, että systeemitason *CES* ei käyttäytynyt merkittävän poikkeavasti vuosituhaten alun teknokuplan tai 2004–2006 välisen matalan volatiliteetin aikana. Ennen finanssikriisiä, *CES* kuitenkin alkoi indikoimaan systeemisen riskin merkittävää kasvua. (Banulescu & Dumitrescu 2015) Tutkimuksen puitteissa systeemitason *CES*:n ennustavista ominaisuuksista ei juuri löytynyt muita viittauksia. Tämä saattaa johtua siitä, että *CES* ei oli saavuttanut samanlaista akateemista huomiota, kuin *CoVaR*, *MES* ja *SRISK*. *CES*:ä kohtaan myöskään kirjallisuudessa asetettu kritiikkiä, toisin kuin esimerkiksi *CoVaR*ia tai *MES*iä.

4.6 Systeemisyyys

Systeemisyyys-mittaria käytettiin tutkimuksessa, jossa Greenwood et al. (2015) kehittivät kyseisen menetelmän. He analysoivat eurooppalaisten pankkien tilaa syksyllä 2009. Käytännön estimoinnissa käytettiin Euroopan pankkiviranomaisen 2011 julkaisemia tietoja. Erityisen kiinnostuneita tutkijat olivat siitä, miten suuret valtionlainojen alaskirjaukset vaikuttaisivat pankkijärjestelmään ja mitkä pankit ovat erityisen haavoittuvaisia tai systeemisesti tärkeitä. Aineistossa tutkittiin 90 eurooppalaispankkia, joista 51 oli julkisesti noteerattuja. Tutkiessa aineistosta pankkien *epäsuoraa haavoittuvuutta* ja verrattaessa sitä *suoraan haavoittuvuuteen* havaittiin, että näiden kahden välillä ollut korrelaatio oli lähes olematon. *Suorassa haavoittuvuudessa* tutkitaan omaisuuserien pakkomyyntien suoria vaikutuksia pankin taseeseen. (Greenwood et al. 2015) Havainto osoittaa, että arvioitaessa pankkien haavoittuvuutta, on tärkeä analysoida pankkiin kohdistuvia epäsuoria vaikutuksia, jotka eivät näy suoraan esimerkiksi suurena korkean riskin lainojen osuutena. Tutkittaessa julkisesti noteerattujen pankkien osakkeiden tuottoja havaittiin viitteitä siihen, että osan suuren *epäsuoran haavoittuvuuden* toimijat myös kokivat suurempia tappiota osakemarkkinalla (Greenwood et al. 2015). Tämä havainto tukee markkinaperusteisia systeemisen riskin määritystapoja kuten *CoVaR*, *MES*, *CES* ja *SRISK*.

Systeemisesti tärkeitä pankkeja määritettäessä *systeemisyyys*-menetelmällä havaittiin, että pankin koko ja velkaantuneisuus eivät yksin tee pankista systeemisesti tärkeää. Systeemisesti tärkeimpiin pankkeihin lukeutui suuria ja suhteellisen pieniä toimijoita. Pienen toimijan suuri verkottuneisuus muodostaa suuren riskin mahdollisessa pakkomyyntitilanteessa. Tutkimuksessa verrattiin *systeemisyyys*-menetelmällä saatuja tuloksia konseptuaalisesti samanlaisten mittareiden, *CoVaR* ja *SRISK*, kanssa. Korrelaatiot *systeemisyyden* ja edellä mainittujen kanssa oli 50 ja 54 prosenttia. Tutkijat huomauttavat, että tuloksien

mukaan pankkikohtainen ongelmien ehkäisy (esimerkiksi pelastuspaketit) ovat tehottomia verrattuna laajempaan makrotason säätelyyn, jossa ehkäistään tartuntaa pankista toiseen. (Greenwood et al. 2015)

Samaa konseptia on käytetty Duarten ja Eisenbachin meneillään olevassa tutkimuksessa (2015), jossa tutkittiin *systeemisyyttä* ja *epäsuoraa haavoittuvuutta* yhdysvaltalaispankeille ennen ja jälkeen finanssikriisin. Tutkimuksen merkittävin havainto saatiin tarkastelemalla systeemitason haavoittuvuutta. Tällöin huomattiin aikaisia merkkejä finanssikriisistä jo ennen vuonna 2004, joka oli paljon ennen muita indikaattoreita. Molemmissa tutkimuksissa havaittiin pakkomyynteihin ja epäsuoriin vaikutuksiin perustuvilla systeemisen riskin määritystavoilla olevan hyvä tunnistava vaikutus systeemisesti tärkeisiin instituutioihin (Duarte & Eisenbach 2015; Greenwood et al. 2015). *Systeemisyyss*-konseptia ei ole laajasti alan tutkimuksissa käytetty, joskin se on noteerattu.

Systeemisyyss lähestyy systeemistä riskiä konseptitasolta ja konkreettisesti pureutuu verkottuneisuuteen. Kuten luvussa 2 on todettu, pankin oman riskin hajauttaminen verkottamalla muiden pankkien kanssa, tekee pankeista saman kaltaisia ja näin kasvattaa systeemistä riskiä. Cai et al. (2018) tutkivat verkottuneisuutta pankkien välillä ja sen rinnastumista systeemiseen riskiin. Tutkijat vertasivat omaa verkottuneisuus-estimaattiaan tässä työssä esiin tuotuihin systeemisen riskin mittareihin *SRISK* ja *CoVaR*. Heille oli selvää, että on olemassa korrelaatio verkottuneisuuden ja systeemisen riskin välillä. Tästä on hyötyä pankkivalvojalle määrittäessä kokonaiskuvaa systeemistä riskiä luovista tekijöistä. (Cai et al. 2018) Parhaimmillaan systeemisyyss-menetelmä voi tuoda arvokkaan näkökulman pankkien tilaan, minkä perusteella voidaan tehdä tarkempia tutkimuksia. Sitä voidaan soveltaa myös pankkeihin, joita ei ole julkisesti noteerattu.

4.7 Havaintojen analysointi

Systeemistä riskiä voidaan lähestyä eri tavoin ja eri tulokulmista. Eroja on esimerkiksi siinä, määrittääkö mittari pankin vaikutusta koko järjestelmän tilaan vai pankin tilaa järjestelmän osana. Vaikka lähestymistavat ovat joissain määrin erilaisia, on valituissa mittareissa hyvin paljon samankaltaisuutta. Eroavaisuuksia löytyy esimerkiksi siitä, lähestytäänkö ongelmaa taseen vai markkinatuottojen kautta. Pohjalla oleva riskinmäärittäytymisen tapa (*VaR* vai *ES*) erottaa toisistaan muutoin samanhenkiset mittarit.

Liitteen A taulukossa tarkastellaan valittujen mittareiden ominaisuuksia käytännön estimoinnissa. Lähes kaikki mittarit on kehitetty niin, että ne pystyivät identifioimaan finanssikriisissä lopulta pahimmin kriisiytyneet pankit. Tarkkuudessa ja luotettavuudessa on kuitenkin havaittu eroja. Esimerkiksi *CoVaR*in kohdalla erot eri toimijoiden välillä olivat niin pieniä, ettei luotettavia johtopäätöksiä voida sen perusteella tehdä (Castro & Ferrari 2014; Adrian & Brunnermeier 2016). *CES* ja *SRISK* onnistuivat finanssikriisissä identifioimaan huomattavan hyvin pankit, jotka tulivat tarvitsemaan julkisen pelastuspaketin tai muun järjestelyn selviytyäkseen (Banulescu & Dumitrescu 2015; Brownlees & Engle

2016). Mikäli julkinen valta on päätynt pelastamaan toimijan, voidaan se luokitella systeemisesti tärkeäksi toimijaksi, joita systeemisen riskin mittaamisesta pyritään tunnistamaan.

Suurimmat haasteet käytännön estimoinnissa liittyivät tulosten tarkkuuteen tai luotettavuuteen, laajan tieteellisen näytön puuttumiseen sekä lähtötietojen saatavuuteen. Jokainen valittu menetelmä oli testattu käytännön aineistolla ja johdannaisperusteista menetelmää lukuun ottamatta niitä oli verrattu finanssikriisin tapahtumiin. Monet menetelmät esiintyivät useammassa tutkimuksessa, jolloin eri tuloksia ja johtopäätöksiä pystyttiin vertailemaan keskenään. Jos mittaria oli käytetty useissa tutkimuksissa onnistunein tuloksin, pidettiin sitä tässä työssä mittarin laatua ja uskottavuutta parantavana tekijänä.

Osa tähän työhön valikoituneista systeemisen riskin mittaamenetelmistä erottui selkeästi käyttökelpoisina ja hyvän luotettavuuden mittareina. Näitä olivat *SRISK* ja *CES* ja joissain määrin *systeemisyys*. Näistä *SRISK* on saanut merkittävästi huomiota ja osassa 4.4 kuvattu debatti pankkiviranomaisen ja tiedeyhteisön välillä kuvaa, että *SRISK* on saanut jalansijan vahvana systeemisen riskin mittarina. Sekä *systeemisyyden* että *CES*:n tutkimustulokset ovat vakuuttavia, mutta ne eivät näyttäisi olevan toistaiseksi saaneet *SRISKin* kaltaista huomiota. *Systeemisyys* on konseptuaalisesti lähellä pankkiviranomaisten suorittamia stressitestejä, mikä lisää sen uskottavuutta.

Muutama menetelmä näyttäytyi selkeästi tiedeyhteisölle merkityksellisiksi, jopa pioneerimaisiksi, menetelmiksi, joiden päälle on rakennettu hienostuneempia ja kehittyneempiä menetelmiä. Näitä ovat *CoVaR*, *MES* ja johdannaisperusteinen menetelmä. Vaikuttaa siltä, ettei uusimmissa julkaisuissa näitä menetelmiä enää käytetä käytännön estimoinnin yhteydessä. Niiden saaman huomion perusteella, niillä on ollut ilmeinen vaikutus ilmiön ymmärtämiseen sekä mittaamisen lähtökohtiin ja näin ovat luoneet pohjaa alan kehittymiselle. *MES* pystyi tunnistamaan pankit, jotka todennäköisesti kaatuvat systeemisessä kriisissä, mutta se ei itsessään tee niistä systeemisesti kriittisiä (Popescu & Turcu 2014). Yksittäisen pankin oman riskiarvion näkökulmasta *MES* voi osoittautua erittäin käyttökelpoiseksi menetelmäksi.

Systeemisen riskin mittaamisessa on tasapainoteltava lähtötietojen ajantasaisuuden, saatavuuden ja tarkkuuden välillä. Osakemarkkinatietoihin täysin nojaavia mittareita on mahdollista päivittää käytännössä joka hetki, mutta niiden soveltuvuudesta systeemiseen riskiin voidaan olla montaa mieltä. Suurin osa tässä työssä esitellyistä menetelmistä perustuu markkinatietoihin. Osakemarkkinat lähtökohtaisesti analysoivat sitä, miten hyvin pankki tuottaa voittoa omistajilleen tulevaisuudessa. Osakemarkkinan primäärin huomion kohteena näin ollen ei ole pankkien verkottuneisuus ja sen luonne tai muut systeemiselle riskille altistavat tekijät, vaikka epäilemättä nekin ovat sijoittajien analyysissä mukana. Tästä näkökulmasta osakkeiden tuottoihin nojaavien mittareiden soveltuvuutta systeemiseen riskiin voidaan kyseenalaistaa. Toisaalta, kuten tulososassa on esitetty, markkinatiedoilla olisi päästy hyviin tuloksiin finanssikriisissä. Markkinoiden tehokkuus

vaikuttaa oleellisesti markkinaperusteisten menetelmien reliabiliteettiin. Kuten luvuissa 2–4 todettiin, liittyy tasetietojen käyttämiseen ongelmia. Tietojen päivittymisen frekvenssi, laatu ja läpinäkyvyys ovat haasteita, joihin valvova viranomainen ja erityisesti tiede joutuvat sopeutumaan. Tasetiedot ovat pankin itsensä raportoimia, kun taas markkinatiedot mitä suurimmissa määrin puolueettomia ja suuren joukon arvioinnin tulos.

5. PÄÄTELMÄT

Systeemisten kriisien harvinaisuus luo haasteen sen riskin tutkimiselle ja mittaamiselle. Ilmiön harvinaisuuden takia herää kysymys siitä, ymmärretäänkö ilmiötä ja siihen vaikuttavia tekijöitä tarpeeksi hyvin. Voidaan pitää melko varmana, että finanssikriisin jälkehen lainsäätäjät ja viranomaiset tekevät runsaasti töitä, jottei samanlaista kriisiä pääse tulevaisuudessa syntymään. Tutkijat ovat kehittäneet menetelmiä, joilla näitä vuoden 2008 kaltaisia tapahtumia voidaan ennakoida ja ehkäistä. Tämä saattaa sokaista siltä, että seuraavan kriisin katalyytit ja kriisin muoto voivat poiketa merkittävästi edellisestä. Digitalisaation myötä pankkitoimialan kiihtyvä murros aiheuttaa oman, nyt vielä vähämerkityksisen mutta alati kasvavan, haasteensa systeemien riskin hallintaan. Analogisesti vuosittaiseen influenssa-aaltoon: on todennäköistä, että rokotuksilla voidaan ehkäistä suurin osa influenssaviruksen eri muodoista, mutta mahdollisuus viruksen tuntemattomalle muodolle on aina olemassa.

Teoriaosuus työssä sijoittuu tutkimussuuntaukseen, jossa systeemisen riskin leviäminen kuvataan tartunta-ilmiön avulla keskittyen pankin varoihin ja vastuisiin. Toinen suuntaus painottaa johdannaissopimusten vastapuoliriskistä aiheutuvaa systeemistä uhkaa. Valitut mittaamenetelmät painottuivat markkinatuottoihin perustuviin ekonometrisiin malleihin (*MES/SES*, *CoVaR*, *SRISK*, *CES*). Monipuolisuutta valittuihin menetelmiin haettiin erilaisen lähestymistavan kautta (*systeemisyy*s, johdannaisperusteinen menetelmä). Vaikka teoriaosuus keskittyi tartuntaan, ei valitut mittaamenetelmät jätä johdannaissopimuksien kautta syntyvää riskiä huomiotta. Markkinatuottoja käyttävät menetelmät voivat parhaimmillaan implikoida tartunta- ja vastapuoliriskin. Rahoitusinstrumenttien ja -markkinoiden monimutkaistuuksessa ja aktiivisuuden kasvaessa (Haldane & May 2011) alan tutkimuksessa on tilaa sisäisiä suuntauksia yhdistävälle työlle.

Tässä tutkimuksessa onnistuttiin erittelemään menetelmiä, jotka ovat saaneet tiedeyhteisössä tunnustusta esimerkiksi ennakoivasta kyvystä identifioida ne toimijat, jotka ajautuivat finanssikriisissä julkisen pelastuspaketin kohteeksi. Näitä menetelmiä ovat *SRISK*, *CES* ja *systeemisyy*s. Koko pankkijärjestelmän tasolla, useamman tutkijaryhmän tutkimuksissa, erityisesti *SRISK* ja *systeemisyy*s osoittivat varhaisia ja luotettavia signaaleja systeemisen riskitason kohoamisesta ennen finanssikriisiä. Näin ollen näitä mittareita voidaan pitää valituista menetelmistä luotettavimpina laajan systeemisen kriisin ennakoijina. Työn puitteissa ei ollut mahdollisuutta pureutua numeerisen estimoinnin yksityiskohtiin, eikä se ollut työn fokuksessa. Tästä syystä valittujen menetelmien erottelu tilastotieteellisten tai matemaattisten keinojen perusteella ei ollut relevanttia. Työn vahvuus on antaa lukijalle yleiskäsitys systeemisen riskin mittaamisesta, sen puitteissa tehtävistä perusoletamuksista ja konseptuaalisista lähestymistavoista. Näitä peilattiin havaintoihin empiiristä tutkimuksesta. Työ on liian suppea viranomaiskäyttöön, mutta parhaimmillaan se voi

antaa pankkien toimintaympäristöstä, yleisestä taloudellisesta vakaudesta ja sen lainalaisuuksista kiinnostuneille arvokasta lisätietoa ilmiöstä, joka ei ole päivittäin esillä julkisessa keskustelussa. Tutkimusalan nopeasta kehityksestä johtuen (Billio et al. 2012) työ on ajassa kiinni. Tieteen ymmärrys käsitellyistä ilmiöistä, menetelmistä tai ratkaisemattomista ongelmista on lähes varmasti toisenlainen jo seuraavalla vuosikymmenellä. Jatkotutkimus systeemisen riskin mittaamiseen on siis tärkeää.

Läpinäkyvyys pankin toimintaan on rajallista, mikä luo oman haasteensa systeemisen riskin arviointiin (Bisias et al. 2012). Mitä läpinäkyvämpää pankkien toiminta on, ja mitä reaaliaikaisempaa markkinoiden hinnanmuodostus omaisuuserille on (Li & Perez-Saiz 2018), sitä paremmin mahdollisia systeemisiä uhkia voidaan tunnistaa. Yksittäisen pankin kasvaessa markkinaansa nähden merkittäväksi on suuri riski, että kasvua joudutaan hakemaan ottamalla enemmän riskiä. On kuitenkin myös yksittäisen pankin etu, ettei se muodostu systeemisesti liian merkittäväksi toimijaksi tämän tuodessa mukanaan mahdollisia korotettuja maksuja, riskin liiketoiminnan vakaudesta ja muita velvoitteita, jotka vaativat resursseja. Läpinäkyvyyden, vuoropuhelun ja yhteistoiminnan lisääntyminen niin pankkien, tiedeyhteisön, poliitikkojen kuin markkinaviranomaistenkin välillä edesauttaa systeemisen riskin hallintaa, mikä on lopulta kaikkien tahojen etu.

LÄHTEET

- Acharya, V.V., Engle, R. & Richardson, M. (2012). Capital shortfall: A new approach to ranking and regulating systemic risks, *American Economic Review*, Vol. 102(3), pp. 59-64.
- Acharya, V.V., Pedersen, L.H., Philippon, T. & Richardson, M. (2017). Measuring systemic risk, *The Review of Financial Studies*, Vol. 30(1), pp. 2-47.
- Acharya, V.V., Pierret, D. & Steffen, S. (2016). Introducing the “Leverage Ratio” in assessing the capital adequacy of European banks, in: Anonymous (ed.), *Technical Report*, Mimeo ZEW, CNN,
- Adrian, T. & Brunnermeier, M.K. (2016). CoVaR, *American Economic Review*, Vol. 106(7), pp. 1705-1741.
- Allen, F., Babus, A. & Carletti, E. (2012). Asset commonality, debt maturity and systemic risk, *Journal of Financial Economics*, Vol. 104(3), pp. 519-534.
- Allen, F. & Gale, D. (2000). Financial Contagion, *Journal of Political Economy*, Vol. 108(1), pp. 1-33.
- Banulescu, G. & Dumitrescu, E. (2015). Which are the SIFIs? A Component Expected Shortfall approach to systemic risk, *Journal of Banking & Finance*, Vol. 50 pp. 575-588.
- Bartram, S.M., Brown, G.W. & Hund, J.E. (2007). Estimating systemic risk in the international financial system, *Journal of Financial Economics*, Vol. 86(3), pp. 835-869.
- Battiston, S., Puliga, M., Kaushik, R., Tasca, P. & Caldarelli, G. (2012). Debtrank: Too central to fail? financial networks, the fed and systemic risk, *Scientific reports*, Vol. 2 pp. 541.
- Begley, T.A., Purnanandam, A. & Zheng, K. (2017). The strategic underreporting of bank risk, *The Review of Financial Studies*, Vol. 30(10), pp. 3376-3415.
- Berger, A.N., Roman, R.A. & Sedunov, J. (2017). Do bank bailouts reduce or increase systemic risk? The effects of TARP on financial system stability,
- Billio, M., Getmansky, M., Lo, A.W. & Pelizzon, L. (2012). Econometric measures of connectedness and systemic risk in the finance and insurance sectors, *Journal of Financial Economics*, Vol. 104(3), pp. 535-559.
- Bisias, D., Flood, M., Lo, A.W. & Valavanis, S. (2012). A survey of systemic risk analytics, *Annu.Rev.Financ.Econ.*, Vol. 4(1), pp. 255-296.
- Black, F. & Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities, *Journal of political economy*, Vol. 81(3), pp. 637-654.

- Brownlees, C. & Engle, R.F. (2016). SRISK: A conditional capital shortfall measure of systemic risk, *The Review of Financial Studies*, Vol. 30(1), pp. 48-79.
- Cai, J., Eidam, F., Saunders, A. & Steffen, S. (2018). Syndication, interconnectedness, and systemic risk, *Journal of Financial Stability*, Vol. 34 pp. 105-120.
- Castro, C. & Ferrari, S. (2014). Measuring and testing for the systemically important financial institutions, *Journal of Empirical Finance*, Vol. 25 pp. 1-14.
- Duarte, F. & Eisenbach, T. (2015). Fire-sale spillovers and systemic risk,
- Engle, R. (2002). Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity models, *Journal of Business & Economic Statistics*, Vol. 20(3), pp. 339-350.
- Financial Crisis Inquiry Commission (2011). The financial crisis inquiry report: The final report of the National Commission on the causes of the financial and economic crisis in the United States including dissenting views, Cosimo, Inc.,
- Freixas, X., Parigi, B.M. & Rochet, J. (2000). Systemic risk, interbank relations, and liquidity provision by the central bank, *Journal of Money, Credit and Banking*, pp. 611-638.
- Gai, P. & Kapadia, S. (2010). Contagion in financial networks, The Royal Society.
- Girardi, G. & Ergün, T.A. (2013). Systemic risk measurement: Multivariate GARCH estimation of CoVaR, *Journal of Banking & Finance*, Vol. 37(8), pp. 3169-3180.
- Glasserman, P. & Young, H.P. (2016). Contagion in financial networks, *Journal of Economic Literature*, Vol. 54(3), pp. 779-831.
- Gravelle, T. & Li, F. (2013). Measuring systemic importance of financial institutions: An extreme value theory approach, *Journal of Banking & Finance*, Vol. 37(7), pp. 2196-2209.
- Gray, D.F. & Jobst, A.A. (2010). New directions in financial sector and sovereign risk management,
- Greenwood, R., Landier, A. & Thesmar, D. (2015). Vulnerable banks, *Journal of Financial Economics*, Vol. 115(3), pp. 471-485.
- Grinderslev, O.J. & Kristiansen, K.L. (2016). Systemic risk in Danish banks: Implementing SRISK in a Danish context, google Danmarks Nationalbank Working Papers,
- Haldane, A.G. & May, R.M. (2011). Systemic risk in banking ecosystems, *Nature*, Vol. 469(7330), pp. 351-355.
- Hoggarth, G., Reis, R. & Saporta, V. (2002). Costs of banking system instability: some empirical evidence, *Journal of Banking & Finance*, Vol. 26(5), pp. 825-855.

- Homar, T., Kick, H. & Salleo, C. (2016). Making sense of the EU wide stress test: a comparison with the SRISK approach,
- Huang, X., Zhou, H. & Zhu, H. (2009). A framework for assessing the systemic risk of major financial institutions, *Journal of Banking & Finance*, Vol. 33(11), pp. 2036-2049.
- Jorion, P. (2000). Risk management lessons from long-term capital management, *European financial management*, Vol. 6(3), pp. 277-300.
- Lehar, A. (2005). Measuring systemic risk: A risk management approach, *Journal of Banking & Finance*, Vol. 29(10), pp. 2577-2603.
- Leroy, A. & Lucotte, Y. (2017). Is there a competition-stability trade-off in European banking? *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, Vol. 46 pp. 199-215.
- Li, F. & Perez-Saiz, H. (2018). Measuring systemic risk across financial market infrastructures, *Journal of Financial Stability*, Vol. 34 pp. 1-11.
- Lin, E.M., Sun, E.W. & Yu, M. (2018). Systemic risk, financial markets, and performance of financial institutions, *Annals of Operations Research*, Vol. 262(2), pp. 579-603.
- Lines, T. (2010). Reducing the moral hazard posed by systemically important financial institutions, *Financial Stability Board*
- Liu, J., Sriboonchitta, S., Phochanachan, P. & Tang, J. (2015). Volatility and dependence for systemic risk measurement of the international financial system, *Springer*, pp. 403-414.
- Merton, R.C. (1974). On the pricing of corporate debt: The risk structure of interest rates, *The Journal of finance*, Vol. 29(2), pp. 449-470.
- Popescu, A. & Turcu, C. (2014). Systemic sovereign risk in Europe: An MES and CES approach, *Revue d'économie politique*, Vol. 124(6), pp. 899-925.
- Safa, M.F., Hassan, M.K. & Maroney, N.C. (2013). AIG's announcements, Fed's innovation, contagion and systemic risk in the financial industries, *Applied Financial Economics*, Vol. 23(16), pp. 1337-1348.
- Webster, J. & Watson, R.T. (2002). Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review, *MIS quarterly*, pp. xxiii.

LIITE A: TAULUKKO MENETELMIEN OMINAISUUKSISTA EMPIIRISISSÄ TUTKIMUKSISA

	Mitattava ilmiö	Edut käytännön estimoinnissa	Puutteet/Ristiriitaisuudet käytännössä	Kyky tunnistaa merkittävä ja laajamittainen kriisi
ΔCoVaR	Pankin ongelmien vaikutus koko pankkijärjestelmään (Adrian & Brunnermeier 2016).	Osoittaa, että pankin riskilisyyden määrittäminen erityksissä ei anna luotettavaa kuvaa kokonaisriskistä (Adrian & Brunnermeier 2016).	Pankkeja ei voida luotettavasti laittaa sen mukaan järjestykseen systeemisen riskin kontribuution mukaan. (Castro & Ferrari 2014; Adrian & Brunnermeier 2016)	Menetelmällä havaittiin ennakoivia ominaisuuksia (Adrian & Brunnermeier 2016). Tuloksia ei ole kuitenkaan vahvistettu laajasti.
Johdannaisperusteinen malli	Keskittyy erityisesti pankkien varallisuuserien keskinäiseen korrelaatioon (Lehar 2005; Acharya et al. 2017).	Varallisuuserien korrelaatio on osaketuottojen korrelaatioon verrattuna tarkoituksenmukaisempi (Lehar 2005).	Vaatii vahvoja olettamuksia vastuurakenteesta (Acharya et al. 2017). Tiedon saatavuus saattaa myös muodostua ongelmaksi. Menetelmää ei ole sovellettu laajalti alan kirjallisuudessa	Tämän tutkielman yhteydessä ei havaittu yhtään tutkimusta, jossa Leharin (2005) menetelmää olisi testattu esimerkiksi finanssikriisin ajalta.
SES/MES	MES mittaa pankin odotetun alijäämän pankkijärjestelmän ollessa kriisissä (Acharya et al. 2017).	Soveltuu käytettäväksi pankkia itseään koskevissa riskianalyysissä. (Popescu & Turcu 2014; Acharya et al. 2017)	SES vaatii havaintoja kriisin ajalta (Brownlees & Engle 2016). Tulosten luotettavuus epävarma (Acharya et al. 2017).	Ei vahvaa näyttöä ennustavista ominaisuuksista.

SRISK	Odotusarvo pankin alijäämän määrälle kriisitilanteessa (Brownlees & Engle 2016).	Tieteellisissä julkaisuissa havaittu luotettavaa pankkikohtaista ennustavuutta. (Brownlees & Engle 2016)	Viranomaiset ovat osoittaneet kritiikkiä SRISK:n ennakoivista ominaisuuksista yksittäisten pankkien kohdalla (Homar et al. 2016).	Saanut merkittävää tieteellistä huomiota. Systemitason mittarissa havaittu ennustavia ominaisuuksia reaalityönteeseen (mm. teollisuuden tuotannon määrään ja työttömyyteen). (Brownlees & Engle 2016)
CES	Toimijan absoluuttinen vaikutus systeemin vakautteen (Banulescu & Dumitrescu 2015).	Tuottaa vakuuttavia tuloksia finanssikriisin ympäristössä (Banulescu & Dumitrescu 2015).	Ei ole saavuttanut vielä merkittävää jalansijaa alan tutkimuksissa. On täysin riippuvainen markkinatiedoista	Tutkittaessa eri pankkikategorioita havaittu ennustettavuutta systemisen riskin tason kohoamisesta (Banulescu & Dumitrescu 2015).
Systeemisyys	Tutkii yhden pankin omaisuuserien pakkomyynnin vaikutusta koko pankkijärjestelmään (Greenwood et al. 2015).	Pureutuu selvästi yhteen systemisen riskin olennaisimpaan komponenttiin, tartuntaan. (Greenwood et al. 2015). Voidaan soveltaa myös listaamattomille pankeille.	Vaatii tarkkoja tietoja pankin taseen rakenteesta ja tekee vahvoja oletuksia pankkien käyttäytymisestä kriisissä (Greenwood et al. 2015). Voidaan päivittää vain neljännesvuosittain ja on riippuvainen taseen informaatiosta.	Havaittu indikoineen hyvin varhaisia merkkejä finanssikriisistä (Duarte & Eisenbach 2015). Laajempi tieteellinen näyttö puuttuu.